

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2013

Tomáš Horák

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Stanovení topného faktoru tepelného čerpadla

**Determination of Coefficient of Performance of
Heat pump**

2013

Tomáš Horák

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Horák**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: Stanovení topného faktoru tepelného čerpadla
Determination of Coefficient of Performance of Heat Pump

Zásady pro vypracování:

1. Vlastnosti tepelných čerpadel
2. Topné faktory jednotlivých typů tepelných čerpadel
3. Návrh měřicí metodiky
4. Volba vhodné měřicí aparatury

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Hradílek, Z., Lázníčková, I., Král, V. Elektrotepelná technika. Praha: ČVUT Praha 2011. ISBN 978-80-01-043938-9
- [2] Karlík, R. Tepelné čerpadlo pro váš dům. Praha: Grada publishing, 2009, 1. vydání. ISBN 978-80-247-2720-2
- [3] Bašta, J. Regulace vytápění. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT Praha, 2007, 1. vydání. ISBN 978-80-01-02582-6
- [4] Petráš, D. Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga group, Bratislava, 1. vydání. ISBN 978-80-8076-069-4
- [5] TZB-Info [online]. [cit. 2012-09-24]. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

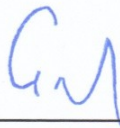
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladimír Král, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 3.4.2013.....

.....
Savel Marek

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Vladimíru Královi, Ph.D. za konzultace, cenné rady a připomínky při tvorbě této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou tepelných čerpadel a jejich topných faktorů. Cílem této práce je stanovení topného faktoru tepelného čerpadla, a to měřením za reálných provozních podmínek. První část se zabývá historickým vývojem, provozem tepelných čerpadel, popisem jednotlivých částí a rozdělením tepelných čerpadel podle druhu a zdroje tepelné energie. Druhá část se zabývá topným faktorem tepelných čerpadel. Třetí část obsahuje postup měření, popis použitých měřících přístrojů a měřeného tepelného čerpadla. Poslední část obsahuje naměřené a vypočtené hodnoty v grafech a zhodnocení měření.

Klíčová slova

Tepelné čerpadlo, topný faktor, zdroje tepla, kompresor, tepelný výměník, expanzní ventil, chladivo.

Abstract

The point of this diploma thesis is the issue of heat pumps and their coefficient of performance. Determinate coefficient of performance of heat pumps with measurement in real operation conditions is the aim of this thesis. The first part is dealing with historical progress, heat pumps operation, description of individual parts and classification of heat pumps according to type and heat energy sources. The second part is dealing with coefficient of performance of heat pumps. The third part includes process of measurement, description of used instruments and description of measured heat pump. The last part includes measured and calculated values in graphs and evaluation of measuring.

Key Words

Heat pump, coefficient of performance (COP), heat sources, compressor, heat exchanger, expansion valve, refrigerant.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Značka	Význam	Jednotka
c	měrná tepelná kapacita vody	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
e	topný faktor	-
k	korekční součinitel pro skutečný oběh	-
m	hmotnostní průtok	$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$
P_E	elektrický příkon	kW
P_T	tepelný výkon	kW
Q_P	energie pro pohon tepelného čerpadla	J
Q_T	výstupní energie z tepelného čerpadla	J
Q_Z	energie z okolního prostředí	J
t	čas	h
T_V	teplota na výstupu	K
T_Z	teplota zdroje tepelné energie	K
W	elektrická energie	kWh
ΔT	teplotní rozdíl	K
η	účinnost	-

Obsah

Úvod	1
1. Vlastnosti tepelných čerpadel	2
1.1 Tepelné čerpadlo	2
1.1.1 Historie tepelných čerpadel	2
1.2 Provoz tepelných čerpadel	3
1.2.1 Topná soustava	3
1.2.2 Provozní režimy tepelných čerpadel	4
1.3 Druhy tepelných čerpadel	6
1.3.1 Tepelné čerpadlo s kompresorem	6
1.3.2 Další druhy tepelných čerpadel	8
1.4 Systémy tepelných čerpadel	8
1.4.1 Tepelná čerpadla vzduch/voda	8
1.4.2 Tepelná čerpadla vzduch/vzduch	9
1.4.3 Tepelná čerpadla voda/voda	9
1.4.4 Tepelná čerpadla země/voda	10
1.4.5 Tepelná čerpadla s přímým odběrem tepla	10
1.5 Zdroje tepelné energie pro tepelná čerpadla	11
1.5.1 Horizontální kolektor	11
1.5.2 Hlubinný vrt.....	13
1.5.3 Energetické piloty	14
1.5.4 Podzemní voda	15
1.5.5 Odpadní voda	16
1.5.6 Povrchová voda	16
1.5.7 Vnější vzduch	17
1.5.8 Vnitřní vzduch	18
1.5.9 Odpadní vzduch	19
1.5.10 Geotermální energie	19
1.5.11 Solární kolektor	19
1.6 Základní části tepelných čerpadel	20
1.6.1 Kompresor	20
1.6.2 Výměníky tepla – kondenzátor a výparník	22
1.6.3 Expanzní ventil	24
1.6.4 Chladiva	25
2. Topné faktory jednotlivých typů tepelných čerpadel	27
2.1. Topný faktor tepelného čerpadla	27
2.1.1. Účinnost a topný faktor tepelného čerpadla	27
2.1.2. Výpočet topného faktoru	28
2.1.3. Provozní a skutečný topný faktor	30
2.1.4. Porovnání topných faktorů jednotlivých typů tepelných čerpadel	31
2.2. Měření výkonu a topného faktoru tepelného čerpadla	32
2.2.1 Měření teploty	33
2.2.2 Měření průtoku	33
2.2.3 Měření elektrického příkonu	33
3. Návrh měřicí metodiky	35
3.1. Tepelné čerpadlo ClimateMaster GSW060	35
3.2. Měřicí přístroje	36
3.2.1. Datalogger Voltcraft PL-125-T4	36
3.2.2. Datalogger GAR 195	37
3.2.3. Třífázový elektroměr DTS 353 L 60	38
3.3. Postup měření topného faktoru tepelného čerpadla GSW060	40

4. Volba vhodné měřicí aparatury	42
4.1. Měření teplot na tepelném čerpadle GSW060	42
4.1.1. Venkovní teplota	42
4.1.2. Vstupní a výstupní teploty tepelného čerpadla	43
4.2. Měření spotřeby energie a stanovení příkonu tepelného čerpadla GSW060	45
4.2.1. Spotřeba elektrické energie	45
4.2.2. Elektrické příkon	47
4.3. Tepelný výkon a topný faktor tepelného čerpadla GSW060	47
4.3.1. Tepelný výkon	47
4.3.2. Topný faktor	49
Závěr	51
Použitá literatura	52
Seznam příloh	54

Úvod

V současnosti se v oblasti vytápění směřuje k používání efektivnějších a ekologičtějších tepelných zdrojů, mezi něž patří i tepelná čerpadla. V České republice jejich větší rozvoj nastal na konci devadesátých let minulého století, především kvůli rostoucím cenám energií a dotacím ze Státního fondu životního prostředí. Ročně v České republice přibývá několik tisíc nových instalací tepelných čerpadel. V předchozích letech se tepelná čerpadla v České Republice (a v bývalém Československu) používala spíše výjimečně. Protože ekonomická návratnost tepelných čerpadel velice často přesahovala jejich životnost. Hlavním důvodem byly nižší ceny energií a vyšší ceny tepelných čerpadel.

Základním parametrem pro porovnání jednotlivých tepelných čerpadel je topný faktor (COP). Jeho velikost je určena tepelným výkonem a spotřebou energie (příkonem) tepelného čerpadla. Topný faktor uváděný výrobcem tepelného čerpadla nemusí odpovídat skutečnému topnému faktoru, dosaženému při provozu. Nejobjektivnější metodou zjištění skutečného topného faktoru je jeho změření při provozu tepelného čerpadla.

Tato diplomová práce se zabývá problematikou tepelných čerpadel a jejich topných faktorů. Jejím cílem je určení skutečného topného faktoru tepelného čerpadla, a to měřením za reálných provozních podmínek. Měření probíhalo na tepelném čerpadle GSW 060 typu země/voda, které slouží k vytápění rodinného domu. Zdrojem tepelné energie pro tepelné čerpadlo je horizontální zemní kolektor. Topný faktor se z naměřených hodnot stanovil dvěma odlišnými způsoby. Prvním způsobem se topný faktor určil z příkonu a topného výkonu tepelného čerpadla. Druhým způsobem se topný faktor stanovil z teploty vody na výstupu čerpadla a teploty zdroje tepelné energie (teplota nemrznoucí směsi obíhající v zemním kolektoru). Topné faktory určené měřením se v závěru této diplomové práce porovnaly s údaji výrobce.

1. Vlastnosti tepelných čerpadel

1.1 Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla patří k alternativním zdrojům obnovitelné energie, při provozu odebírají teplo z prostředí ve svém okolí (vody, země či vzduchu). Odebrané teplo je v tepelném čerpadle přečerpáno na vyšší teplotní hladinu. Výsledné teplo z tepelného čerpadla může být například použito pro vytápění domu, přípravě teplé užitkové vody anebo pro vytápění bazénů. Tepelné čerpadlo dodává množství energie, které je několikanásobně vyšší, než je energie spotřebovaná při jeho provozu. [1], [2]

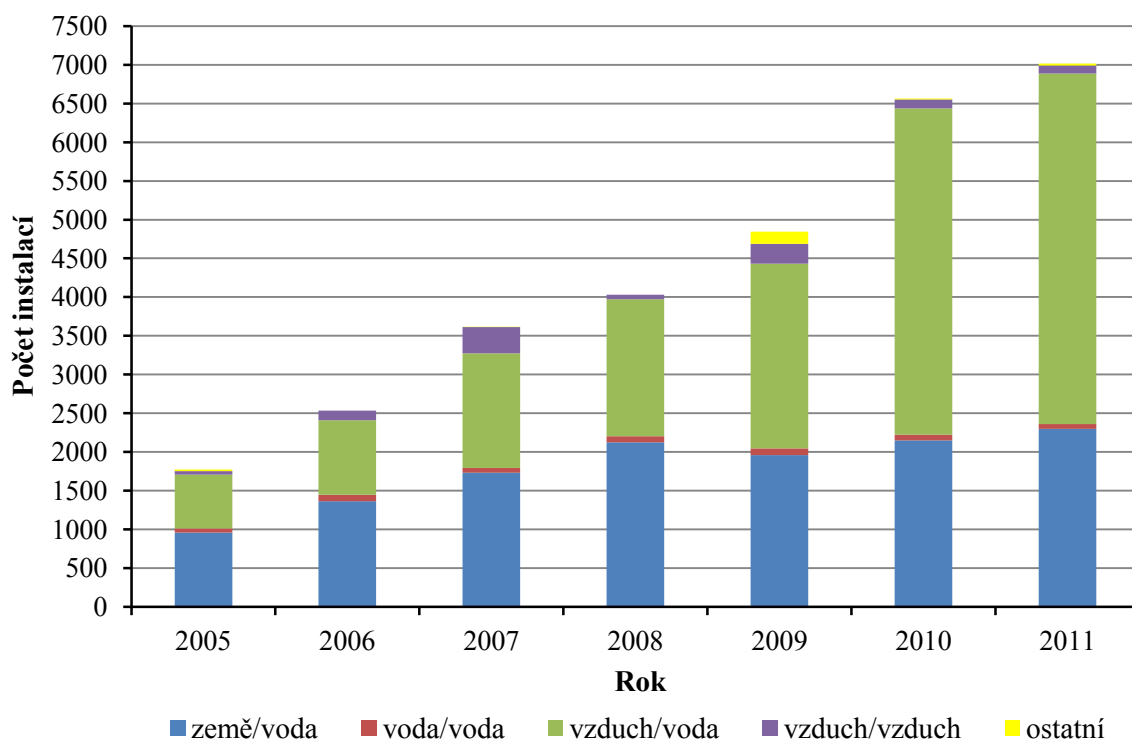
Podobně jako elektrické vytápění se může velice dobře regulovat, a spotřebovává méně elektrické energie než klasické elektrické vytápění srovnatelného tepelného výkonu. Tepelné čerpadlo neprodukuje v místě provozu žádné nežádoucí emise. Pro co nejúčinnější provoz tepelného čerpadla, je potřeba mít co nejmenší teplotu na výstupu z čerpadla, tedy co nejnižší teplotu topné vody (případně vzduchu). Rovněž čím vyšší je teplota prostředí, ze kterého čerpadlo odebírá teplo, tím efektivněji tepelné čerpadlo pracuje. Obvyklá tepelná čerpadla mají teplotu na výstupu do 55 °C. [1], [2]

1.1.1 Historie tepelných čerpadel

Princip tepelného čerpadla poprvé formuloval skotský fyzik lord Kelvin (vlastním jménem William Thomson) v roce 1852. Jeho druhá věta termodynamická obsahuje tvrzení, že se teplo vždy šíří ve směru od teplejší části k části chladnější. Lord Kelvin vycházel z Carnotova ideálního oběhu, který publikoval v díle Úvahy o hybné síle ohně a strojích vyvolávajících tuto sílu francouzský fyzik Nicolas Léonard Sadi Carnot v roce 1824. První použitelné aplikace se ale objevily až o několik desítek let později. [2], [4], [10]

První průmyslová aplikace využívající tepelné čerpadlo vznikla až v roce 1927, kdy skotský inženýr T. G. N. Haldane využil tepelné čerpadlo o výkonu 1,4 MW pro vytápění úřední budovy v Los Angeles. V roce 1940 sestrojil americký vynálezce Robert C. Webber první tepelné čerpadlo se zemním kolektorem. Především během druhé světové války nastal rozmach tepelných čerpadel ve Švýcarsku, kde bylo například vybudováno zařízení dosahující tlaků až 9 MPa, které pracovalo s oxidem uhličitým. [2], [4], [10]

Protože byla tepelná čerpadla provozně a ekonomicky náročnější než tehdy snadno dostupná a levná paliva, došla k jejich významnějšímu rozšíření až v osmdesátých letech 20. století, během kterých se výrazně zvýšily ceny energií. Od přelomu 20. století a 21. století se i v České republice počet nových instalací tepelných čerpadel výrazně zvyšuje. Je to zapříčiněno zejména zvýšeným zájmem o ekologičtější a úspornější vytápěcí zdroje, a také rostoucím cenám energií. [4]



Obr. 1: Počty nových instalací tepelných čerpadel v České republice [7]

Zpočátku se jako chladiva používala voda, oxid uhličitý, oxid siřičitý, metylchlorid, diethyleth, metylether a další látky. Roku 1859 bylo vyrobeno první zařízení pracující na absorpčním principu, ve kterém se používal čpavek. Roku 1934 americký fyzik Jacob Perkins sestrojil chladicí zařízení pracující s diethyletherem. Ve dvacátých letech 20. století došlo k většímu rozšíření chladicích zařízení, ve kterých se nejčastěji jako chladivo používal čpavek nebo oxid siřičitý. [4]

V roce 1932 se začal pod obchodním názvem Freon R12 vyrábět dichlordifluormetan, první chladivo ze skupiny CFC. Poté se začala vyrábět další chladiva z této skupiny a to R11, R13 a R114. Od roku se vyráběly chlordinfluormetan R22 a R502, první chladiva ze skupiny HCFC. Od osmdesátých let 20. století byla výroba těchto látek postupně omezována, protože došlo k objevu jejich negativního vlivu na ozónovou vrstvu Země. V současnosti se vyrábějí ekologičtější chladiva se srovnatelnými termodynamickými vlastnostmi. [4]

1.2 Provoz tepelných čerpadel

1.2.1 Topná soustava

Protože tepelné čerpadlo pracuje nejúčinněji s nižšími teplotami na výstupu, tak nejlépe spolupracuje s nízkoteplotními topnými systémy, jejichž teplota vstupní vody je nejvýše 40 °C. Nejvhodnějším způsobem vytápění při použití tepelného čerpadla je podlahové topení, které pracuje s teplotami topné vody do 40 °C. Nejvyšší teplota topné vody by měla být 50 °C až 55 °C. Topná voda obíhá v potrubí, které je zalité v betonu s přidaným anhydritem nebo plastifikátorem.

Potrubí je nejčastěji vyrobeno z plastu nebo mědi. Na rozdíl od topení s klasickými topnými tělesy nezabírá podlahové topení žádný prostor a také nepotřebuje žádnou údržbu. Instalace podlahového topení je však nákladná a jeho realizace v již dokončeném domě je značně obtížná. [1], [2], [12]

Dalším způsobem vytápění vhodným pro použití s tepelným čerpadlem je vytápění stěnami. Teplota topné vody je stejná jako u podlahového topení, a vyznačuje se bezúdržbovým provozem a nepřítomností viditelných topných těles. Potrubí, ve kterém obíhá topná voda, je umístěno v omítce v hloubce přibližně 20 mm až 25 mm. Pokud nemá stěnové či podlahové topení dostatečný výkon, přidávají se do topné soustavy topná tělesa. [2], [12]

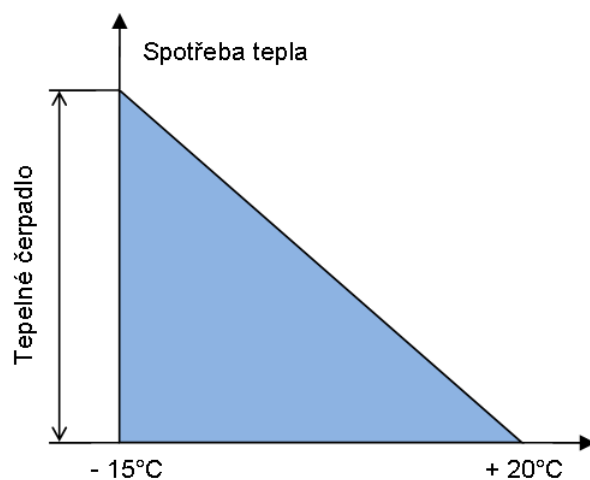
Topná tělesa se vstupní teplotou nejvýše 55 °C, je možné také použít s tepelným čerpadlem. Nejvhodnější jsou konvektory nebo deskové radiátory, litinové a další žebrové radiátory zabírají podstatně více prostoru, než deskový radiátor shodného výkonu. Starší topné soustavy byly často dimenzovány na vstupní teplotu vody 90 °C, takže by při použití tepelného čerpadla s výstupní teplotou 55 °C byla nutná více než dvojnásobná plocha radiátorů. Vyrábějí se i tepelná čerpadla s výstupní teplotou přes 65 °C, zvýšení teploty však způsobí zhoršení účinnosti. [1], [2]

Do topného systému s tepelným čerpadlem se velice často přidávají akumulční (nebo také taktovací) nádrže. Ohřátá voda z tepelného čerpadla je přiváděna přímo do akumulční nádrže, ze které je pak odváděna do topných těles. Akumulční nádrž snižuje četnost sepnutí tepelného čerpadla a tím zvyšuje jeho životnost, protože časté zapínání a vypínání zkracuje životnost kompresoru tepelného čerpadla. [1]

1.2.1 Provozní režimy tepelných čerpadel

Monovalentní provozní režim

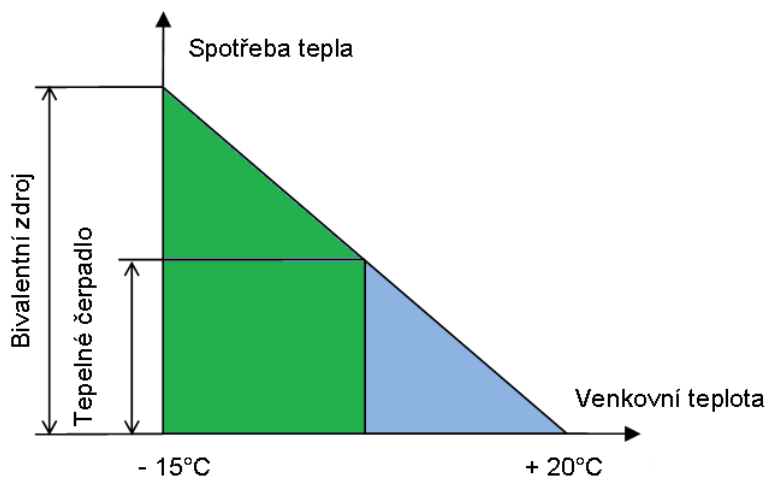
Tepelné čerpadlo pracuje po celou dobu topné sezóny a je jediným zdrojem tepelné energie pro vytápěnou budovu. Tento provozní režim je vhodný zejména pro nízkoteplotní vytápěcí soustavu s teplotou topné vody do 60 °C. Používá se hlavně u dobře zaizolovaných budov a s tepelnými čerpadly využívajícími jako zdroj tepelné energie zemi nebo vodu. U většiny instalací se do topné soustavy musí připojit akumulční zásobník vody. [1], [2], [6]



Obr. 2: Schéma monovalentního provozu [6]

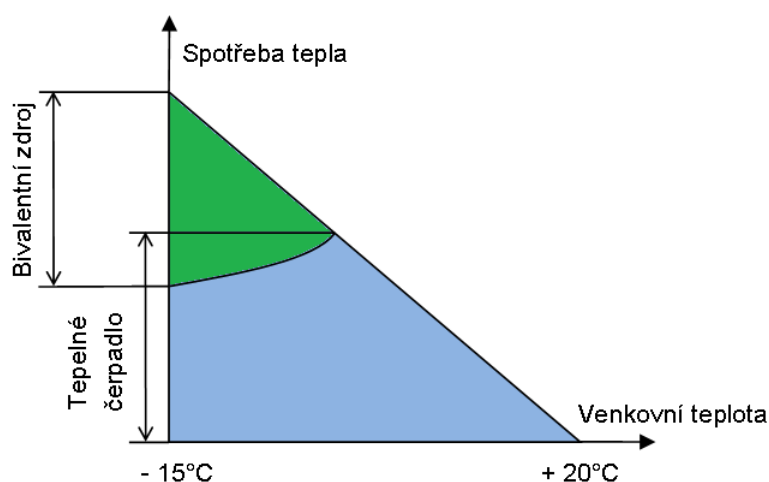
Bivalentní provozní režim

Bivalentní provoz se používá především kvůli tomu, že se spotřeba tepelné energie během topné sezóny mění, a dimenzovat tepelné čerpadlo pro maximální výkon je obvykle neekonomické. Také u některých typů tepelných čerpadel (typy vzduch/voda a vzduch/vzduch) výrazně klesá topný faktor s klesající teplotou. Vzdušná tepelná čerpadla pracují jen do určitých teplot okolního vzduchu (okolo $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Bivalentní provoz lze rozdělit na alternativní, paralelní a částečně paralelní provoz. [1], [2], [6]



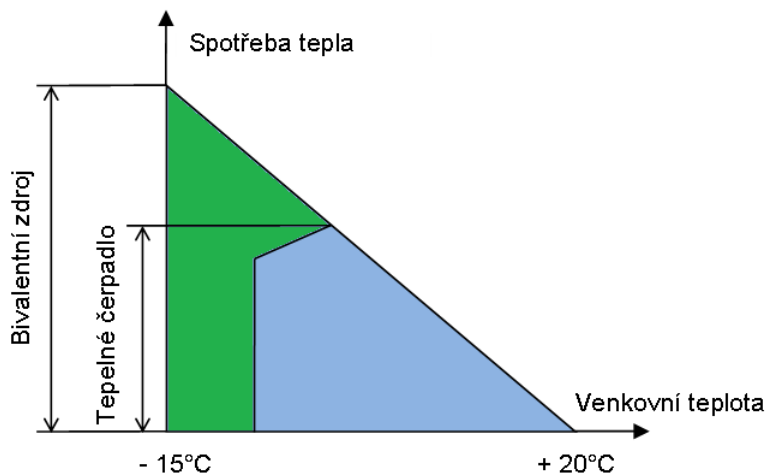
Obr. 3: Schéma alternativně-bivalentního provozu [6]

Tepelné čerpadlo, pracující v alternativně-bivalentním provozu, je v provozu jen po část topné sezóny, při nejnižších teplotách je odstaveno. Tepelnou energii poté dodává další zdroj tepla, často se jedná o elektrokotel (u některých tepelných čerpadel je vestavěný). Alternativně-bivalentní provoz je vhodný pro topné soustavy s teplotou topné vody do $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. [6]



Obr. 4: Schéma paralelně-bivalentního provozu [6]

Tepelné čerpadlo v paralelně-bivalentním provozu pracuje po celou topnou sezónu, i za nejnižších teplot. Při nich ale jeho topný výkon nestačí k vytopení budovy a připojuje se tedy druhý zdroj tepla (špičkový zdroj). Oba zdroje tepla pak pracují současně. Špičkový zdroj slouží současně jako záložní zdroj tepla při poruše tepelného čerpadla. [6]



Obr. 5: Schéma částečně paralelně-bivalentního provozu [6]

Tepelné čerpadlo v částečně paralelně-bivalentní provozu pracuje pouze část topné sezóny a při nejnižších teplotách je odstaveno. Potřebné teplo pak dodává druhý zdroj tepelné energie. Před odstavením tepelného čerpadla jsou po určitý čas v provozu oba zdroje tepla zároveň. Tento provozní režim je vhodný zejména pro topnou soustavu s teplotou topné vody do 60 °C. [6]

1.3 Druhy tepelných čerpadel

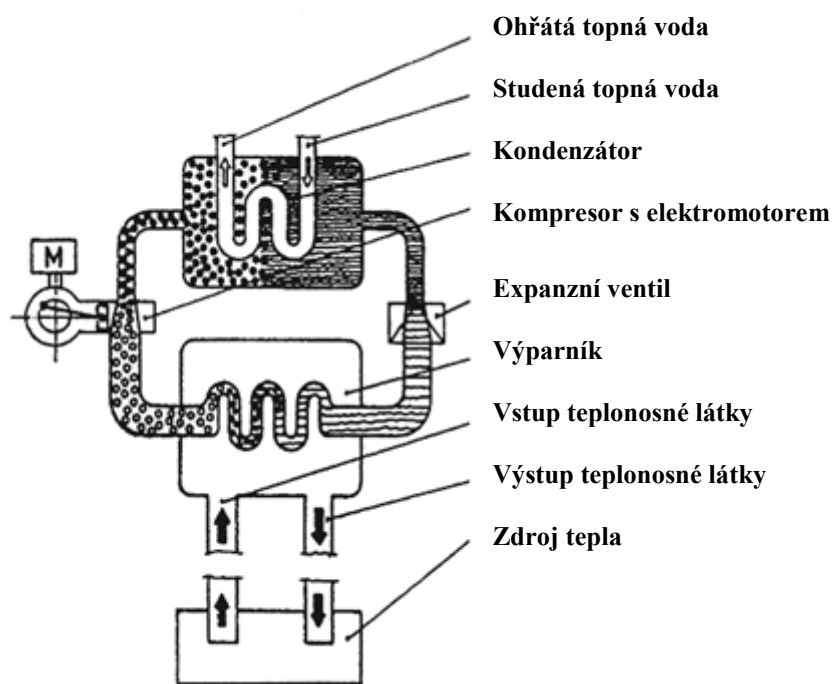
1.3.1 Tepelné čerpadlo s kompresorem

Tepelná čerpadla s kompresorem jsou v současnosti nejpoužívanějším druhem tepelných čerpadel. Tepelná čerpadla využívají toho, že teplota varu (kondenzace) látek je závislá na velikosti tlaku. Uvnitř tepelných čerpadel obíhá chladivo. Chladiva mají při nízkém tlaku velmi malou teplotu varu (až desítky stupňů Celsia pod nulou) a naopak při vyšším tlaku mají vysokou teplotu varu (několik desítek stupňů Celsia nad nulou). [1]

Tepelné čerpadlo získává tepelnou energii z okolního prostředí. Teplo se může získat z půdy, vody, vzduchu nebo slunečního záření. Nejčastěji se teplo získává prostřednictvím soustavy potrubí, uložené v půdě či vodě, ve které obíhá nemrznoucí směs (teplonosná látka), která odebírá teplo z okolního prostředí (ochlazuje ho). Ohřátá nemrznoucí směs pak prochází přes výparník (výměník tepla) tepelného čerpadla. [1], [2]

Uvnitř výparníku nemrznoucí směs předává svou tepelnou energii chladivu, které obíhá v tepelném čerpadle. Chladivo se pak ve výparníku vypaří při nízké teplotě, protože je ve výparníku nízký tlak. Podobným způsobem se získává i teplo z okolního vzduchu. Přes výparník proudí vzduch, který předává svou tepelnou energii chladivu i za nižších teplot. Chladivo v plynném stavu

je nasáváno kompresorem, ve kterém je stlačeno na vyšší tlak. Při zvýšení tlaku se výrazně zvýší i teplota plynného chladiva. Kompresor vlastně dodává chladivu energii. [1], [2]



Obr. 6: Schéma kompresorového tepelného čerpadla [5]

Chladivo zahřáté kompresorem je poté přivedeno do druhého výměníku tepla – kondenzátoru. Chladivo se v kondenzátoru zchladí a začne kondenzovat. V kondenzátoru má chladivo stále vyšší tlak. Tepelnou energii vzniklou kondenzací chladiva odvádí voda nebo vzduch, sloužící k vytápění. Z kondenzátoru chladivo putuje přes expanzní ventil zpět do výparníku. V expanzním ventilu se chladivu sníží tlak (a tím i teplota) na původní hodnotu. [1], [2]

Kompresor v tepelném čerpadle může být poháněn například elektromotorem nebo motorem na naftu, benzin či zemní plyn. Obvykle se ale používá elektromotor, který se vyznačuje dlouhou životností, velkou spolehlivostí a malou hlučností. Pokud je motor a kompresor v uzavřeném provedení, pak skoro nedochází k tepelným ztrátám, protože elektromotor je ochlazován parami chladiva. Rovněž nemůže dojít k úniku chladiva. Elektromotor se také velice snadno spouští a udržuje, jeho cena je oproti ostatním využitelným motorům nižší. [4]

Pokud tepelné čerpadlo nemá vestavěný elektrokotel, tak nejvyšší odběr elektrické energie připadá na kompresor (respektive elektromotor, který ho pohání). Při spuštění tepelného čerpadla krátkodobě dojde ke zvýšení velikosti odebíraného proudu (rozběhový proud). Podle velikosti rozběhového proudu se použije jistič s vhodnou vypínací charakteristikou. U instalací, ve kterých je nutné snížit rozběhový proud, se využívá například frekvenční měnič kompresoru nebo omezovač proudových rázů (softstartér). [2]

1.3.2 Další druhy tepelných čerpadel

Absorpční tepelné čerpadlo

U absorpčních tepelných čerpadel se pro oběh chladiva nepoužívá kompresor. Chladivo je nesené další látkou přidanou do chladiva, tato látka chladivo vstřebává a uvolňuje za přestupu tepla. Poháněcí energií je teplo, které se obvykle získává z elektrického topného tělesa. Toto teplo má často vyšší teplotu než je výstupní teplota tepelného čerpadla. Absorpční tepelná čerpadla se vyznačují velice tichým a značně spolehlivým chodem, protože nemají kompresor a neobsahují žádné pohyblivé součásti. Na rozdíl od kompresorových čerpadel mají však menší účinnost a tím i vyšší spotřebu elektrické energie. Absorpční oběh se používá hlavně u různých chladících zařízení a automobilových klimatizací, v tepelných čerpadlech se téměř nevyužívá. [1], [5]

Hybridní tepelné čerpadlo

Oběh chladiva hybridního tepelného čerpadla je kombinací absorpčního a kompresorového oběhu. Hybridní tepelná čerpadla dosahují poměrně velké energetické účinnosti a mají tedy nízkou spotřebu elektrické energie vzhledem k tepelnému výkonu čerpadla. Hybridní čerpadla jsou však konstrukčně náročnější a proto i dražší než tepelná čerpadla s absorpčním nebo kompresorovým oběhem. Proto se používají jen ve speciálních aplikacích, přičemž se nejčastěji jedná o velká průmyslová zařízení. [1], [5]

Tepelné čerpadlo poháněné Stirlingovým motorem

Stirlingův motor je poháněn prostřednictvím tepelné energie o poměrně nízké teplotě. Pro jeho pohon se může například využít sluneční energie, geotermální energie nebo odpadní teplo z technologických procesů. Komerční využití Stirlingova motoru je však velice omezené. [1], [15]

1.4 Systémy tepelných čerpadel

Podstatou systémů tepelných čerpadel je odebírání tepelné energie o poměrně nízké teplotě a poté její odevzdání topné soustavě. Pro přesun tepla se používají různé druhy výměníků tepla. Podle toho odkud se tepelná energie pro tepelné čerpadlo získává (ze země, vzduchu nebo vody) a podle toho jak tepelné čerpadlo energii přenáší do vytápěné budovy (vodou nebo vzduchem), se systémy tepelných čerpadel rozdělují na čtyři hlavní typy vzduch/voda, vzduch/vzduch, země/voda a voda/voda. Používá se i systém s přímým odběrem tepla ze země, což je vlastně upravené tepelné čerpadlo země/voda. Další systémy, jako je země/vzduch nebo voda/vzduch, nejsou příliš výhodné, a proto se nepoužívají. [2], [3]

1.4.1 Tepelná čerpadla vzduch/voda

Tepelná čerpadla vzduch/voda lze relativně snadno nainstalovat na prakticky libovolnou budovu nebo pozemek. Při jejich použití odpadají vrtné či výkopové práce nutné pro instalaci

čerpadla typu země/voda a mají proto podstatně nižší instalační náklady. Výkon tepelného čerpadla vzduch/voda není stabilní, se vzrůstající teplotou venkovního vzduchu stoupá a naopak s klesající teplotou výkon čerpadla klesá. Proto jsou tepelná čerpadla typu vzduch/voda (stejně jako níže uvedený typ vzduch/vzduch) provozována téměř výhradně jen v bivalentním provozu. Obvyklé vzduchové tepelné čerpadlo pracuje do teploty okolo $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale vyrábějí se i čerpadla schopná pracovat až do teploty $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z tohoto důvodu nejsou vzduchová čerpadla vhodná do lokalit s dlouhodobě nízkými teplotami vzduchu. Nejlepším zdrojem tepelné energie pro vzduchová čerpadla je libovolným způsobem předeřtý vzduch. [2], [3]

Primární okruh čerpadla tvoří výměníky na vzduch – výparníky. Nejčastěji se používá trubková lamelová konstrukce, přičemž lamely zvětšují výparnou plochu trubek. Pokud je celé tepelné čerpadlo umístěno uvnitř budovy, tak se vzduch k výparníku vhání pomocí ventilátoru. Vzduch procházející tepelným čerpadlem vytváří určitou hladinu hluku, která může přesáhnout 40dB. Sekundární okruh tvoří kondenzátory vhodné pro přenos tepla do vody. Jako kondenzátory se obvykle používají deskové tepelné výměníky. Tyto výměníky jsou složeny z nerezových desek s vytvarovanými prolisy, které při položení na sebe vytvářejí malé komůrky, ve kterých odděleně proudí chladivo a topná voda z topného systému. Výkon deskových výměníků je možné zvýšit zvětšením počtu desek, pokud je k tomu výměník navržen. [2], [3]

1.4.2 Tepelná čerpadla vzduch/vzduch

U tepelných čerpadel typu vzduch/vzduch, je jako zdroj tepelné energie (primární okruh) využíván vzduch a sekundární okruh tvoří zpravidla teplovzdušné rozvody nebo klimatizace. Čerpadla tohoto typu jsou ideální pro využití odpadního vzduchu přiváděného například z průmyslových budov. Mezi tento typ čerpadel patří i systémy na rekuperaci tepla, které se využívají hlavně pro vyhřívání bazénových hal. Kompaktní, převážně nástěnná, tepelná čerpadla vzduch/vzduch se používají hlavně pro menší byty či chaty, protože vnitřní část čerpadla vytápí jen místnost ve které je umístěna. [2], [3]

Konstrukce výparníků je přizpůsobena pro odebírání tepelné energie ze vzduchu, nejčastější provedení je trubková lamelová konstrukce. Lamely zvětšují výparnou plochu trubek. Pokud není výparník umístěn přímo v místě, ze kterého odebírá tepelnou energii (například stěna budovy), je vzduch do výparníku přiváděn pomocí ventilátoru. Konstrukce kondenzátoru v sekundárním okruhu bývá podobná nebo totožná jako konstrukce výparníku. S ohřevem vzduchu může být spojena i jeho filtrace, úprava vlhkosti anebo dezinfekce. [2], [3]

Tepelná čerpadla typu vzduch/vzduch je možné snadno umístit na většinu budov či pozemků. Jejich topný faktor však výrazně klesá se snižující se venkovní teplotou a při provozu jsou poměrně hlučné. [2]

1.4.3 Tepelná čerpadla voda/voda

U tohoto typu tepelného čerpadla slouží voda jako zdroj tepelné energie a zároveň i jako topné médium. V primárním okruhu je voda, pomocí oběhového čerpadla, přiváděna až do výparníku. Přímý odběr vody je však možné použít jen pokud je voda vysoce čistá. Další možností je použití plastového potrubí ponořeného přímo do vody. V tomto potrubí obíhá nemrzoucí směs, která

odebírání tepla okolní vodě. Jako kondenzátor i jako výparník se nejčastěji používají deskové výměníky tepla. V kondenzátoru sekundárního okruhu předává chladivo svou tepelnou energii topné vodě. [2], [3]

Tepelná energie se odebírání z vody povrchové nebo podzemní. Podzemní voda se vyznačuje stabilní a poměrně vysokou teplotou (i přes 10 °C) po celý rok. Povrchové vody (řeky, rybníky, náhony, jezera, a potoky) se využívají méně často, hlavně kvůli složité administrativě a kolísavé teplotě vody. [2], [3]

1.4.4 Tepelná čerpadla země/voda

Tepelná čerpadla země/voda mají po celý rok nejstabilnější tepelný výkon vzhledem k okolním klimatickým podmínkám a jsou tedy použitelná prakticky ve všech oblastech včetně horských lokalit. Celý systém tohoto typu čerpadel má velice dlouhou životnost. Čerpadla země/voda mohou být provozována jak v monovalentním provozu, tak v provozu bivalentním. Samotné tepelné čerpadlo je umístěno uvnitř budovy. Čerpadla se vyrábí v kompaktním provedení – tepelné čerpadlo s bojlerem (k přípravě teplé užitkové vody) a doplňkovým tepelným zdrojem nebo v provedení standardním – jen tepelné čerpadlo. [2], [3]

S instalací tepelného čerpadla systému země/voda jsou spojeny i nákladné zemní práce nutné pro instalaci kolektoru odebírajícího tepelnou energii z půdy. Tento kolektor lze rozdělit na tři typy. Prvním typem je zemní kolektor (horizontální kolektor), druhým je hlubinný vrt (vertikální kolektor) a posledním typem jsou energetické piloty. Často se využívá horizontální zemní kolektor, jehož vybudování bývá méně nákladné než vyhloubení vrtu. Vertikální kolektory se uplatňují zvláště na pozemcích s malou plochou. V letních měsících se vrty mohou využít pro chlazení. Při poruše je oprava kolektoru nákladná a značně složitá. Jako výparníku se nejčastěji používá deskový výměník tepla. [2], [3]

1.4.5 Tepelná čerpadla s přímým odběrem tepla

Tepelné čerpadlo, využívající přímý odběr tepla ze země chladivem (používá se i termín přímé odpařování), je v podstatě tepelné čerpadlo země/voda s odlišným kompresorem a upraveným oběhem chladiva. U klasického tepelného čerpadla obíhá v horizontálním nebo vertikálním kolektoru nemrznoucí směs, která se přivádí do výparníku. Ve výparníku nemrznoucí směs předá svou tepelnou energii vnitřnímu chladivovému okruhu. Pro oběh nemrznoucí směsi je potřeba samostatné oběhové čerpadlo. Naproti tomu v zemním kolektoru tepelného čerpadla s přímým odběrem tepla obíhá, místo nemrznoucí směsi, přímo chladivo. Chladivo pak odebírání okolní zemině tepelnou energii. Kvůli tomu, že je oběh chladiva poháněn pomocí kompresoru, není potřeba oběhové čerpadlo pro primární okruh. Použitý kompresor musí být, kvůli vyšším ztrátám tlaku a většímu objemu chladiva, v odlišném provedení než je kompresor v klasickém tepelném čerpadle. [2], [3]

Protože má chladivo výrazně nižší teplotu než nemrznoucí směs v klasickém tepelném čerpadle, je odběr tepelné energie zemině okolo kolektoru účinnější, a je tedy možné instalovat zemní kolektor s menší plochou nebo kratší vertikální kolektor. Jako materiál pro potrubí kolektoru se nejčastěji používá měď. [2], [3]

Největší nevýhodou tohoto typu tepelného čerpadla je značné podchlazování zeminy v okolí kolektoru, které může vést až vytvoření ledové vrstvy okolo potrubí. Proto se mimo topnou sezonu musí nechat zemina zregenerovat a není tedy možné provozovat tepelné čerpadlo v letních měsících, například pro přípravu teplé vody. [2], [3]

1.5 Zdroje tepelné energie pro tepelná čerpadla

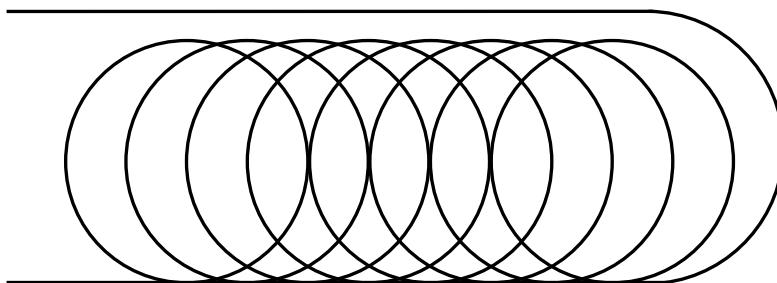
Zdrojem tepelné energie pro tepelné čerpadlo může být:

- země (horizontální kolektor, hlubinný vrt, energetické piloty)
- voda (povrchová voda, podzemní voda, odpadní voda)
- vzduch (venkovní vzduch, vnitřní vzduch, odpadní vzduch)
- ostatní (geotermální energie, sluneční kolektor)
- vzájemná kombinace několika různých zdrojů

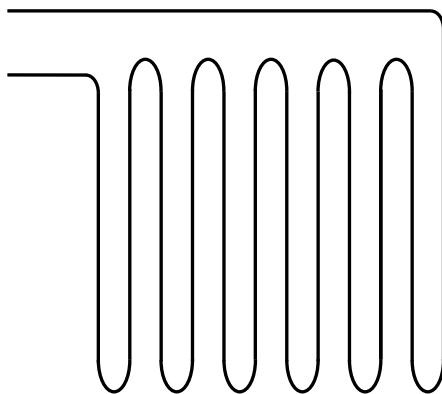
1.5.1 Horizontální kolektor

Při tomto způsobu odběru tepelné energie se tepelná energie se odebírá ze země pomocí horizontálního zemního kolektoru, který je složen ze soustavy plastových popřípadě měděných trubek nebo hadic. Kolektorem proudí nemrznoucí směs, obvykle solanka nebo podobná ekologicky nezávadná nemrznoucí kapalina. Potrubí kolektoru se mohou pokládat buď do několika samostatných výkopů (kolektor výkopový) nebo do jednoho plošného výkopu (kolektor plošný). Potrubí se umísťují v nezamrzající hloubce, dostatečně daleko od základů budovy (minimálně 1,5 metru), jinak by mohlo dojít k namrzání půdy a posunu staveb. V České republice se doporučuje hloubka 1 až 2 metry. Jednotlivé smyčky potrubí zemního kolektoru by měly mít mezi sebou vzdálenost minimálně 60 centimetrů, doporučuje se jeden metr. [1], [2], [4], [5], [6]

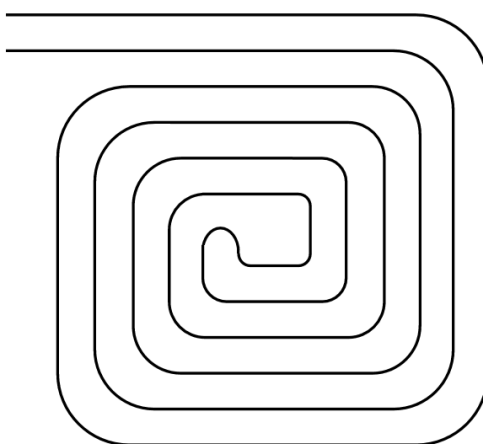
Plocha, ze které je odebíráno teplo, by měla být přibližně 3 až 4 krát větší než vytápěná plocha. V okolí horizontálního kolektoru není možné vysazovat stromy ani stavět. Množství odebíraného výkonu je závislé na typu půdy. Pokud není k dispozici dostatečně velká nezastavěná plocha, je možné použít, namísto klasického uložení nebo uložení do spirály, speciální uložení do slinky. Klasické uložení rovnoměrně čerpá teplo z plochy, u spirálové uložení je nejchladnější potrubí ohříváno nejteplejším. [1], [2], [4]



Obr.7: Schéma uložení kolektoru do slinky



Obr. 8: Schéma klasického uložení kolektoru



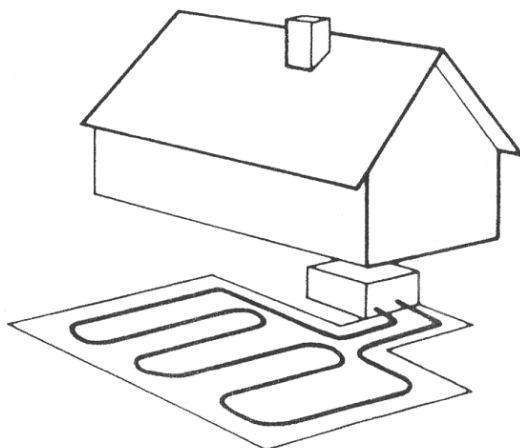
Obr. 9: Schéma uložení kolektoru do spirály

Zemní kolektor se vyznačuje poměrně stálým a vysokým topným faktorem a na rozdíl od vrtu nebo energetických pilot je snadněji opravitelný. Také náklady na jeho instalaci jsou obvykle nižší než v případě hlubinných vrtů. Instalace zemního kolektoru však vyžaduje rozsáhlé stavební práce a je nutný poměrně velký nezastavěný pozemek. [1], [2], [6]

Typ půdy	Topný výkon na 1m ² (W)	Plocha na 1 kW topného výkonu (m ²)
suchá půda	10 – 15	66 – 100
vlhká půda	15 – 20	50 – 66
velmi vlhká půda	20 – 25	40 – 50
mokrá půda	25 – 30	33 – 40
půda s výskytem spodní vody	30 – 40	25 – 33

Tab. 1: Velikost odebíraného výkonu z půdy zemním kolektorem [4]

Protože je teplota povrchové vrstvy půdy ovlivňována venkovní teplotou, dochází k mírnému kolísání topného faktoru během roku. Nejnižší topný faktor je ke konci topné sezóny, protože je okolní zemina nejvíce ochlazená. Hlavně v zimních měsících může dojít k namrznutí kolektoru a tím i ke snížení množství odebírané tepelné energie. Pokud je tepelné čerpadlo v provozu jen přes topnou sezónu, může mít kolektor menší plochu, protože dochází k regeneraci okolní zeminy pomocí deště a přímého i nepřímého slunečního záření. [1], [2]



Obr. 10: Odběr tepelné energie horizontálním kolektorem s klasickým uložením potrubí [5]

1.5.2 Hlubinný vrt

Jedním ze značně rozšířených způsobů odběru tepelné energie je využití vertikálního kolektoru (hlubinného vrtu). Vertikální tepelný výměník při tomto způsobu odebírá tepelnou energii ze soustavy potrubí, která je umístěna ve vrtech. Vrtky obvykle mají hloubku 50 až 150 metrů, výjimečně až 160 metrů. Průměr vrtu se nejčastěji pohybuje mezi 110 až 220 milimetry. Po vyhloubení se do vrtu vloží dvě nebo čtyři PE hadice, ve kterých obíhá nemrznoucí směs. Hadice mají na konci připevněnou speciální hlavici, díky které se vytvoří jedna, respektive dvě smyčky ve tvaru U. Vrt se nakonec zasype cementovou nebo jílocementovou směsí. [1], [2], [4]

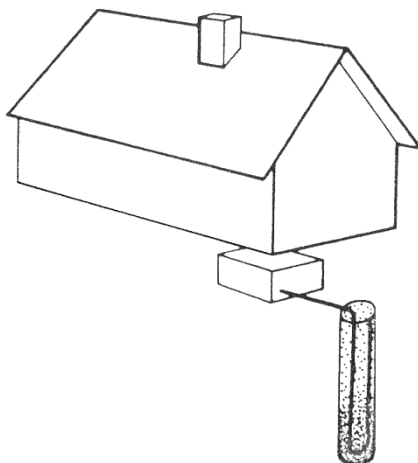
Typ půdy	Topný výkon na 1m délky kolektoru (W)	Hloubka na 1 kW topného výkonu (m)
suchá zemina	30	33
normální pevná hornina	55	18
hornina s velkou tepelnou vodivostí nebo jíly	80	13
hornina s výskytem spodní vody	100	10

Tab. 2: Velikost odebíraného výkonu ze země na 1 metr hloubky [4]

Teplota země je venkovní teplotou ovlivňována do hloubky přibližně 5 metrů, z tohoto důvodu se často s prvními 10 metry vrtu pro topné využití nepočítá. Proto je výhodnější použít jediný delší

vert než několik kratších vrtů. Při použití více vrtů, by vrtly měly mít mezi sebou vzdálenost minimálně 10 metrů (popřípadě 10 % hloubky vrtu). Při menších vzdálenostech by se jednotlivé vrtly mohli navzájem negativně ovlivňovat. Vrtly se hloubí nejčastěji kolmě, méně často šikmě na různé strany, aby bylo možné postavit více vrtů z jediného místa. Při použití několika šikmých vrtů se navíc sníží náklady na realizaci o spojovací potrubí mezi jednotlivými vrtly. [2], [4], [5]

Protože mají vrtly celoročně velkou a téměř konstantní teplotu (přibližně 8 °C až 12 °C), má tepelné čerpadlo vysoký a stabilní topný faktor po celý rok. Množství odebraného tepla závisí na složení podloží v okolí vrtu a jeho hloubce. V letních měsících je možné vrtly využívat ke chlazení, při kterém se vlastně vrtly regenerují pro topnou sezónu. Při hloubení vrtu může dojít k nechtěné kontaminaci spodních vod či ztrátě vody ze studen v okolí vrtu. Pokud je vrt příliš krátký může v topné sezóně zamrznout a poté z něj nelze odebírat tepelnou energii, dokud se nezregeneruje. Vrtly zabírají podstatně menší plochu než horizontální kolektory, náklady na instalaci vrtů však bývají vyšší. Vrt také prakticky nelze opravit a v některých lokalitách může být problém s přístupem pro vrtné zařízení. [1], [2], [4], [6]



Obr. 11: Odběr tepelné energie vrtem [5]

1.5.3 Energetické piloty

Jednou z možností získání tepelné energie pro tepelné čerpadlo je využití základů budov. Soustavy potrubí odebírající tepelnou energii podloží se rozdělují podle způsobu instalace potrubí na energetické základy, energetické piloty a energetické stěny. Energetické piloty lze použít pouze u novostaveb, protože dodatečná instalace soustavy potrubí do základů budovy je prakticky nemožná. Piloty rovněž prakticky není možné opravit. Budovy s piloty se obvykle staví na pozemcích s nezpevněným podložím, které neumožňuje postavení klasických základů budov. Nejčastěji se jedná o pozemky v blízkosti vodních toků nebo s velmi vysokou hladinou podzemní vody. Samotné piloty staticky jistí budovy. Obvykle je možné tyto piloty použít pro odebírání tepelné energie z okolní půdy. Dovnitř energetických pilot je zavedena soustava potrubí naplněných nemrznoucí kapalinou. Konce potrubí jsou vyvedeny až do místnosti s tepelným čerpadlem. [2]

V zimních měsících tepelné čerpadlo odebírá potřebné teplo ze soustavy pilot a tím ochlazuje okolní zeminu. V letních měsících se piloty využijí k ochlazení budovy. Tepelná kapacita zeminy okolo energetických pilot je však omezená a v topné sezóně se může vyčerpat. Proto je nutné tepelné čerpadlo provozovat v režimu vytápění/chlazení. Výjimku tvoří pozemky s dostatečným pohybem spodní vody a vhodným například štěrkovým podložím. [2]

1.5.4 Podzemní voda

K tomuto způsobu odběru tepelné energie se nejčastěji používají dvě studny s vhodnou hloubkou, umístěním a celoročně vydatným pramenem. První studna, takzvaná zdrojová, slouží pro čerpání podzemní vody. Voda se obvykle čerpá ze studny klasickým ponorným čerpadlem. Odčerpaná voda se po zchlazení (předání tepla) ve výměníku vypouští do druhé studny. Druhé studni se říká vratná nebo vsakovací studna. Ve velice výjimečných případech se voda vypouští do povrchových vod. Další způsob je využití tří (nebo i více) studní, kdy se dvě studny používají jako vsakovací (vratné). Hloubka studní je úměrná výšce hladiny spodní vody, vhodná hloubka je přibližně od 10 metrů do 25 metrů. Voda v těchto hloubkách si udrží relativně stálou teplotu (přibližně 7 °C až 12 °C) během celého roku. Vzdálenost mezi oběma studnami by měla být minimálně 15 až 30 metrů. Tepelné čerpadlo s odběrem podzemní vody se vyznačuje poměrně vysokým a stabilním topným faktorem, náklady na instalaci jsou obvykle nižší než u vrtů a horizontálních kolektorů. Může však dojít k náhlému snížení vydatnosti pramene nebo k úplnému vyčerpání studny. [1], [2], [5], [6]

Před instalací se několik týdnů (minimum je 28 dnů) provádí čerpací zkouška, během níž se čerpá voda ze studny v množství odpovídajícímu provozu plánovaného tepelného čerpadla. Zároveň se zkouší i vratná studna. Zdroj vody by měl mít dostatečně silný (přibližně 180 litrů za hodinu na 1 kW výkonu tepelného čerpadla) a stabilní tok vody po celý rok. Průtok vody tepelným čerpadlem se musí navrhnout takovým způsobem, aby nedocházelo k nadměrnému ochlazování, které může způsobit zamrznutí vody v potrubí. [1], [2]

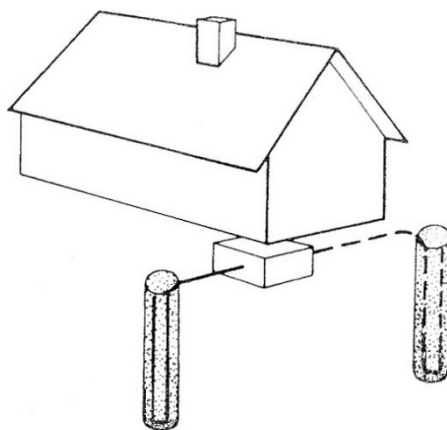
Druh látky	Množství na jeden litr vody (mg)
Dusičnany	100
Kyselina uhličitá	20
Kyslík	2
Mangan a železo	3
Sířany	70
pH vody	6 – 8

Tab. 3: Maximální přípustné množství nečistot ve vodě [4]

Odčerpávaná voda nesmí obsahovat mechanické nečistoty (např. kaly, písky), a také by neměla mít vysoký obsah železa anebo minerálů, protože by docházelo k zanášení anebo korozi filtrů a výměníku tepelného čerpadla. Proto pokud čistota vody není dostatečná, je nezbytné přidat k tepelnému čerpadlu další okruh s deskovým tepelným výměníkem, ve kterém proudí nemrznoucí

kapalina. Při použití okruhu s nemrznoucí kapalinou ale dojde, vlivem nižší teploty ve výparníku, ke snížení topného faktoru čerpadla. [1], [2], [4]

Při provozu tepelného čerpadla může dojít k zamrznutí vody ve výparníku čerpadla. Nejčastěji k zamrznutí dochází při zanesení filtrů nebo při poruše čerpadla ve studni. Zamrznutí se nejčastěji zabraňuje pomocí hlídačů průtoku vody, které při snížení průtoku vypnou tepelné čerpadlo. [2]



Obr. 12: Odběr tepelné energie systémem dvou studní [5]

1.5.5 Odpadní voda

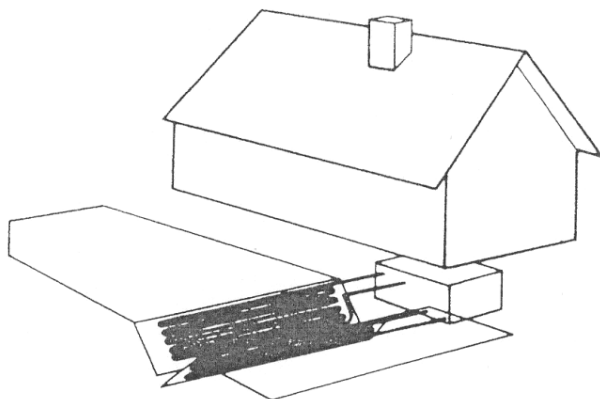
Tento způsob odběru tepla je nejvhodnější pro průmyslové podniky, využívá se nepotřebná teplá voda získaná z různých technologických procesů (například voda z různých chladících okruhů). Další možností je použití odpadní vody z koupelen, kuchyní a prádeln v hotelích, bytových domech nebo i rodinných domcích. Instalace je obvykle snadná a levná, ale množství teplé odpadní vody a její teplota nemusí být stabilní. Tepelné čerpadlo využívající jenom odpadní vodu nelze využít jako jediný zdroj tepla. [5]

1.5.6 Povrchová voda

Nejběžnější způsob odebírání tepelné energie z povrchové vody je prostřednictvím kolektoru z plastového potrubí, ve kterém obíhá nemrznoucí kapalina. Jednotlivé smyčky potrubí se pokládají na dno vodního toku či nádrže s roztečí 0,5 m až 1 m. Nejvhodnější vodní toky jsou náhony u mlýnů nebo malých vodních elektráren, protože mají stabilní výšku vodní hladiny a malou rychlost vody. Protože teplota vody během roku kolísá a v zimních měsících dosahuje přibližně jen 4 °C, může se ochladit pouze o několik stupňů Celsia a je tedy nutné použít kolektor větších rozměrů. Velmi malé vodní plochy a toky se proto nemohou použít. V případě povodní se může kolektor poškodit, podobně i při zamrznutí hladiny může dojít k poškození kolektoru většími kusy ledu. [1], [2], [6]

Druhou možností je přivést vodu potrubím přímo k tepelnému čerpadlu a poté ji ochlazenou vypouštět zpět do vodního toku. Pokud je však voda znečištěná, může dojít k zanesení potrubí a tepelného výměníku. Také je nutné platit poplatky za odběr vody správci vodního toku. Při větších

vzdálenostech tepelného čerpadla od zdroje vody se výrazně zvyšují náklady na stavbu potrubí. Proto se tento způsob využívá méně často než způsob první. Před instalací je vždy nutné získat souhlas správce vodního toku nebo majitele vodní nádrže. Náklady na instalaci jsou menší než u vrtů či horizontálních kolektorů. [1], [2], [6]



Obr. 13: Odběr tepelné energie z povrchové vody [5]

1.5.7 Vnější vzduch

Tepelná energie se získává ze vzduchu v okolí budovy, přičemž tepelný výměník je obvykle umístěn vně budovy. Jeden z nejpoužívanějších typů tepelného čerpadla využívajícího vnější vzduch je takzvaný split. Tepelné čerpadlo je rozděleno na samostatnou venkovní a vnitřní část. Okolní vzduch, za pomoci ventilátoru s nízkými otáčkami, prochází venkovní částí, ve které je ochlazován. Vnitřní část je relativně malá a může se snadno umístit na střechu, zem nebo vnější stěnu budovy. Vnitřní a venkovní část je propojena izolovaným potrubím, ve kterém obíhá chladivo. Vzdálenost obou částí by měla být maximálně 10 metrů. Vnitřní část je připojena na topnou soustavu. [1], [4], [5], [6]

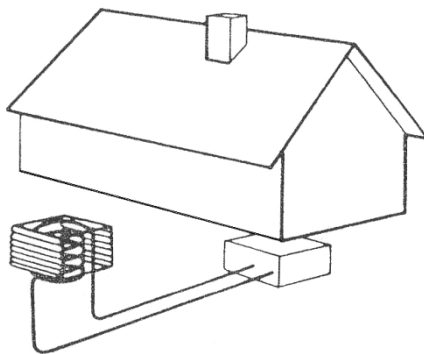
Dalším typem je tepelné čerpadlo bez vnější části umístěné celé uvnitř objektu s otvory pro přívod a odvod vzduchu v obvodové stěně. Otvory je nutné umístit tak, aby se ochlazený vzduch nevracel zpět do tepelného čerpadla. Pro přívod i odvod vzduchu se používá potrubí s průměrem přibližně 400 mm. Tento typ je levnější, ale tepelné čerpadlo zabírá podstatně více vnitřního prostoru budovy. Vzduchové tepelné čerpadlo může být umístěno i kompletně vně budovy, jen s izolovaným potrubím vedoucím do budovy. V potrubí obíhá topná voda. Tepelné čerpadlo tohoto typu nezabírá žádný vnitřní prostor a mohou se použít i hořlavá chladiva. Pro své umístění vně budovy potřebuje pevný podklad (nejčastěji betonové desky či patky, dřevěné prážce) dle rozměrů čerpadla. Posledním používaným typem jsou tepelná čerpadla bez ventilátorů, u kterých se používají takzvané energetické střechy nebo ploty, což jsou vlastně deskové nebo trubkové kolektory, ve kterých obíhá nemrzoucí směs. [1], [4], [6]

Pokud je tepelný výměník umístěn vně budovy dochází ke vzniku námrazy na výparníku. Námraza vzniká přibližně při teplotách $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při vyšších teplotách se námraza netvoří, z výparníku jen odkapává voda. Při nižších teplotách se námraza také netvoří, protože vzduch je příliš suchý. Pro odtávání námrazy se používá například reverzní chod, při kterém tepelné čerpadlo vyhřívá výměník. Při použití reverzního chodu ale dochází ke snižování účinnosti a zvyšování

spotřeby energie tepelného čerpadla. Další, ale investičně nákladnější možností, je instalace dvou tepelných výměníků pracujících střídavě. [1], [6]

Další nevýhodou může být hlučnost samotného tepelného čerpadla, které je umístěno vedle budovy. Ventilátor tepelného výměníku může mít hlučnost přes 40 dB. Pro potlačení hluku se využívají tlumiče, popřípadě se tepelné čerpadlo umístí dovnitř budovy, nebo se obklopí materiály, které pohlcují zvuk. Ventilátory s nastavitelným počtem otáček mohou být v noci přepnuty na nižší otáčky a mají tedy nižší hlučnost, přes den pak běží s vyššími otáčkami. [1], [2],

Vzduchové tepelné čerpadlo pracuje za nízkých teplot venkovního vzduchu s nízkým topným faktorem. Takže v topné sezóně, kdy je nejvyšší potřeba tepelné energie, má nejmenší účinnost. Z tohoto důvodu je použití vzduchového čerpadla jako jediného zdroje tepelné energie velice nákladné. Proto se vzduchové čerpadlo používá výhradně v kombinaci s dalším zdrojem tepla a samotné tepelné čerpadlo pokrývá jenom část z celkové spotřeby tepelné energie. Kvalitnější tepelná čerpadla mohou pracovat až do teplot okolo $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzduchové tepelné čerpadlo může být umístěno prakticky kdekoliv, jeho instalace je obvykle jednoduchá, levná a nejsou při ní nutné žádné zásahy do okolního prostředí. [1], [2], [5]



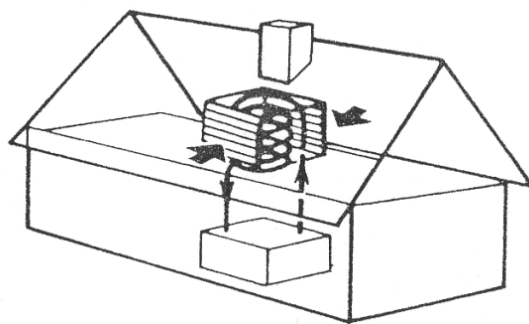
Obr. 14: Odběr tepelné energie z vnějšího vzduchu [5]

1.5.8 Vnitřní vzduch

Na rozdíl od předchozího způsobu je tepelný výměník umístěn uvnitř budovy, obvykle v půdních prostorách. Vytápěná budova musí být vybavena nuceným větracím systémem, přičemž se prostřednictvím tepelného čerpadla využívá odváděný teplý vzduch. Teplota odváděného vzduchu se pohybuje přibližně od $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, takže tepelné čerpadlo pracuje s vysokým topným faktorem. Získané teplo ze vzduchu se může využít pro ohřev topné vody ústředního topení nebo pro přímý ohřev vzduchu při teplovzdušném vytápění budovy (tato varianta je výhodnější). Tepelné čerpadlo může sloužit prostřednictvím reverzního chodu i jako klimatizace. Se systémem tepelného čerpadla může být propojena další úprava vzduchu, jako je například filtrace anebo dezinfekce. [1], [5]

Podstatnou nevýhodou je omezené množství vzduchu z větracího systému, proto je tedy nutný další zdroj tepelné energie pro tepelné čerpadlo (např. hlubinný vrt nebo zemní kolektor), případně druhý tepelný zdroj. Společně s tepelným čerpadlem je nutné nainstalovat soustavu potrubí pro přívod a odvod vzduchu z jednotlivých místností. [1]

Další možností je umístění tepelného čerpadla ve sklepních prostorách a využití okolního vzduchu jako zdroje tepla. Tento způsob má ale několik podstatných nevýhod. Pokud je sklep důkladně izolován, bude v něm výrazně nižší teplota než ve vytápěných místnostech. Pokud sklep není zaizolován, bude docházet k ochlazování přilehlých místností. Půda okolo sklepa nebude ohřívat sklep natolik, aby byl umožněn provoz tepelného čerpadla. Do sklepa je ale možné přivádět venkovní vzduch, takže by tepelné čerpadlo ve skutečnosti využívalo vzduch z okolí budovy. [1]



Obr. 15: Odběr tepelné energie z vnitřního vzduchu [5]

1.5.9 Odpadní vzduch

Při tomto způsobu se využívá odpadního tepla, a to buď z technologických procesů (např. od pecí či chlazení kondenzátorů) nebo z odváděného vzduchu při řízeném větrání. Nejčastěji se používá v průmyslových podnicích a v nákupních centrech, hotelích a dalších budovách s klimatizací. Tento způsob se může použít i v zemědělských budovách (například v kravínech). Protože odpadní vzduch má obvykle poměrně vysokou teplotu, tepelné čerpadlo pracuje s dobrou účinností. Množství odpadního vzduchu a jeho teplota nemusí být stabilní, a tepelné čerpadlo využívající pouze odpadní vzduch nelze použít jako jediný zdroj tepla. Tepelné čerpadlo může podobně jako při využití vnitřního vzduchu pracovat v reverzním režimu a ochlazovat vzduch přiváděný do objektu. [2], [5], [6]

1.5.10 Geotermální energie

Pro získání tepelné energie lze využít prameny teplé podzemní vody. Voda z těchto pramenů je většinou dostatečně čistá a obvykle má stabilní a vysokou teplotu po celý rok. V České republice se vhodné lokality nalézají především na severní Moravě a v severozápadních Čechách. Další možností je použití nevyužívaných zatopených dolů nebo šachet hlubokých několik stovek metrů. V těchto hloubkách je po celý rok voda o teplotě až několik desítek stupňů Celsia. [5], [6]

1.5.11 Solární kolektor

Jako zdroj tepla pro tepelné čerpadlo je možné použít solární (sluneční) kolektor. Zdrojem tepelné energie je vakuovaný plochý kapalinový kolektor. Kolektor je schopen ohřát teplonosnou kapalinu, kterou je naplněn, na teplotu 5 - 30 °C i při nižších teplotách vzduchu. Výstupní teplota z kolektoru je závislá na stupni oblačnosti. Sluneční kolektor má dobrou účinnost i za nižších teplot

okolního vzduchu, ale náklady na jeho instalaci jsou poměrně vysoké. Další možností je akumulace sluneční energie v letních měsících do velkého zásobníku vody. Tento zásobník pak v topné sezóně slouží jako zdroj tepelné energie pro tepelné čerpadlo. Tepelné čerpadlo se solárním kolektorem není použitelné jako jediný zdroj tepla. Kolektor může být umístěn na většinu domů a pozemků, ale jeho životnost není vysoká. [2], [5], [6]

1.6 Základní části tepelných čerpadel

1.6.1 Kompresor

Kompresor tepelného čerpadla stlačuje páry chladiva nasávané z výparníku. Při zvýšení tlaku chladiva v plynném stavu se zároveň zvýší jeho teplota (kompresor chladivu dodá energii). Z kompresoru jsou páry chladiva odváděny do kondenzátoru. Sací tlak běžného kompresoru se pohybuje mezi 0,1 MPa až 0,5 MPa, obvyklý výstupní tlak (výtlak) kompresoru je mezi 0,5 MPa až 2,5 MPa. Velikost obou tlaků je ovlivněna druhem chladiva. Tlak 2,5 MPa odpovídá výstupní teplotě tepelného čerpadla mezi 55 °C až 60 °C. Kompresory mohou dosáhnout i vyšších tlaků (přes 3 MPa) a proto se vyrábějí s ochranami proti vzrůstu tlaku, nejčastěji se používají přetlakové ventily. [3], [4]

Takzvaný sací výkon je, společně s velikostí tlaků a příkonem, jedním z nejdůležitějších parametrů u všech typů kompresorů. Jedná se o objem nasátých par chladiva vztažený na tlak v sacím hrdle. Udává se jako množství přečerpaného plynu v $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ nebo $\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$. Dalším důležitým parametrem je kompresní poměr, který je určen poměrem sacího a výstupního tlaku. [4]

Ve všech kompresorech je olejová náplň, zvolená podle typu použitého chladiva. Pro chladiva obsahující chlor se nejčastěji používají minerální oleje, případně alkylbenzeové oleje. Pro chladiva neobsahující chlor se nejčastěji používají syntetické polyoesterové nebo alkylbenzeové oleje. [4]

Při provozu část oleje proudí společně s chladivem přes celý chladivový okruh. Olej se vrací zpět do kompresoru, ve kterém neustále musí být určité množství oleje. Po zastavení kompresoru se začne olejová náplň pozvolna ochlazovat a olej se více nasycuje chladivem. Také se postupně zvýší sací tlak a to až na hodnotu tlaku nasycených par při okolní teplotě. Po spuštění kompresoru se sníží tlak v olejové náplni a chladivo obsažené ve zchlazené olejové náplni se začne prudce uvolňovat. Při tom může dojít ke zpěnění oleje, což zhorší jeho vlastnosti. Tomuto procesu se zabráňuje nahříváním olejové náplně v kompresoru poté, co dojde k jeho vypnutí. Po spuštění kompresoru se nahřívání vypne. Některé kompresory mají vestavěné topné těleso přímo v olejové lázni, u uzavřených kompresorů se zvenčí olejové náplně umístí elektrická topná páska. Tato topná páska obvykle má výkon mezi 50 W až 100 W. [4]

Kompresory používané v tepelných čerpadlech se vyrábějí ve třech základních provedeních. Uzavřené provedení obsahuje kompresor i elektromotor na společné hřídeli v jedné hermeticky uzavřené schránce. Olejová náplň je také společná. Ze schránky vychází jen sací a výstupní potrubí, takže nedochází k unikání chladiva. Uzavřené provedení kompresorů se v tepelných čerpadlech používá nejčastěji. [4]

Polouzavřené provedení má opět kompresor a elektromotor s jednou společnou hřídelí v hermeticky uzavřené schránce. Na rozdíl od uzavřeného provedení má schránka tohoto provedení několik odnímatelných vík, kvůli přístupu ke klikové skříni, elektromotoru a ventilové desce

kompresoru. Tento typ provedení se používá ve speciálních aplikacích a pro vyšší výkony, nejčastěji s pístovými kompresory. [4]

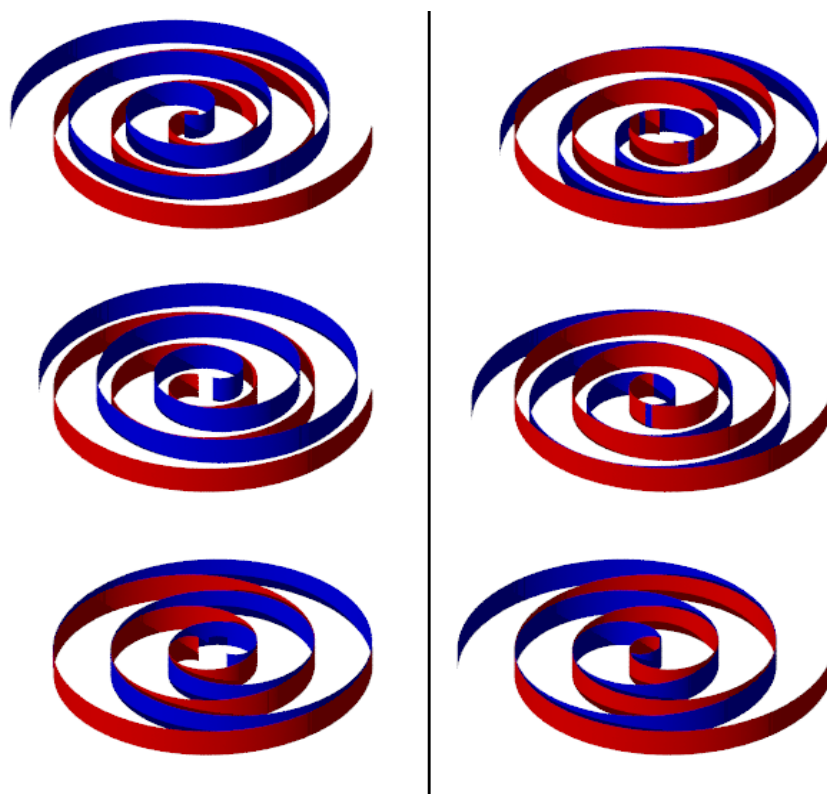
U otevřeného provedení je ve schránce pouze kompresor, pohon je vně schránky. Hřídel kompresoru je vyvedena ze schránky a důkladně utěsněna, aby nedocházelo k unikání chladiva. Toto provedení je vhodné k použití jiného druhu motoru, než je elektromotor, je velice časté například u automobilových klimatizací. [4]

Typy kompresorů:

- **Spirálový kompresor (SCROLL)** – je v současné době nepoužívanějším typem kompresoru v tepelných čerpadlech. Jejich životnost je přibližně dvacet let. Jsou dražší než pístové kompresory, ale dosahují vyšších topných faktorů. Také mají nižší vibrace a tím i tišší chod. Rovněž se vyznačují vysokou objemovou účinností a jednodušší konstrukcí, protože se skládají z méně pohyblivých dílů. Nemají ani žádné ventily, které vytvářejí takzvané hluché prostory. Při jejich provozu je nutné dodržet smysl otáčení motoru, protože při změně směru otáčení může dojít k poruše kompresoru, který v opačném chodu nezvyšuje tlak chladiva. Spirálový kompresor je složen ze dvou do sebe vložených kovových spirál. Horní spirála je pevná a uprostřed má otvor, propojený s výtlačnou trubicí. Dolní spirála krouží, prostřednictvím excentru na hřídeli motoru, v horní spirále. Kroužením se mezi spirálami vytvářejí v místech s odlišným zakřivením plynové kapsy, které se posouvají k otvoru ve středu horní spirály. [1], [4], [11]
- **Pístový kompresor** – má oproti spirálovým kompresorům nižší topný faktor, menší cenu a vyšší hlučnost. Jejich životnost je okolo patnácti let. Kompresory se často kvůli hlučnosti obalují tlumícím krytem, který zároveň slouží i jako tepelná izolace. Ve válci kompresoru se pohybuje píst, který stlačuje chladivo v plynném stavu. Chladivo z válce proudí přes otevřený výstupní ventil. Poté co píst dosáhne horní polohy, tak se otevře sací ventil a uzavře se výstupní ventil. Aby měl kompresor co nejvyšší účinnost, je nutné, aby byl prostor mezi válcem a pístem v horní poloze (takzvaný hluchý prostor) co nejmenší. Část chladiva totiž zůstane ve válci a expanduje při pohybu pístu do dolní polohy, což zhoršuje účinnost kompresoru. Elektromotor pohánějící kompresor je chlazen parami chladiva, s kompresorem sdílí olejovou lázeň. Kompresory nižších výkonů mají jednofázové asynchronní motory s pomocnou rozběhovou fází, kompresory pro vyšší výkony mají třífázové asynchronní motory. Kompresory vyšších výkonů jsou často vybaveny vnitřní tepelnou ochranou vinutí rotoru a také přetlakovou pojistkou, která spojí výtlač se sáním při překročení určitého tlaku. Při nasátí kapalného chladiva dochází k poškození kompresoru, tomu se nejčastěji zabráňuje připojením odlučovače kapalného chladiva. U většiny pístových kompresorů nezáleží na smyslu otáčení motoru. [1], [4], [11]
- **Rotační kompresor** – se skládá z válcové komory a rotujícího pístu, který je také válcového tvaru. Píst rotuje po vnitřním obvodu válcové komory. Podle polohy pístu se zasouvá a vysouvá těsnící přepážka, která slouží k oddělení prostoru sací části a výtlačné části. Rotační

kompresory se používají zejména v menších klimatizačních jednotkách. Mají horší objemovou účinnost a velkou tepelnou vazbu mezi sacím a výtlačným potrubím. Pracují s menší účinností než pístové nebo spirálové kompresory. Vyrábějí se výhradně jen pro nižší výkony, jejich životnost je kolem patnácti let. [1], [4], [11]

- **Šroubový kompresor** – se skládá ze dvou šroubovitých rotorů. Jsou vytvarovány tak, aby do sebe zapadaly, při chodu kompresoru se po sobě oba odvalují. Jejich cena je kvůli obtížné výrobě vysoká a proto se používají výhradně v průmyslových a speciálních instalacích, ve kterých je potřeba vysoký výkon. [1], [4]



Obr. 16: Princip funkce spirálového kompresoru [8]

1.6.2 Výměníky tepla – kondenzátor a výparník

Výměníky tepla v tepelném čerpadle zprostředkovávají přenos tepelné energie mezi dvěma látkami, přičemž obě látky jsou od sebe odděleny a nedochází k jejich přímému kontaktu. Protože se (dle druhé věty termodynamického zákona) teplo vždy šíří ve směru z teplejšího prostředí k prostředí chladnějšímu, musí být vždy mezi látkami rozdíl teplot. [4]

Kondenzátory v tepelných čerpadlech jsou výměníky tepla, které přenáší teplo mezi chladivem a topným médiem v topném systému. Topné médium je obvykle voda, méně často vzduch. [3]

Výparníky jsou výměníky tepla sloužící k předávání tepla z okolního prostředí chladivu. Odběr tepla z okolního prostředí probíhá prostřednictvím nemrznoucí směsi obíhající v soustavě potrubí umístěné v daném prostředí, nebo přímým odběrem z přiváděného vzduchu či vody. [3], [4]

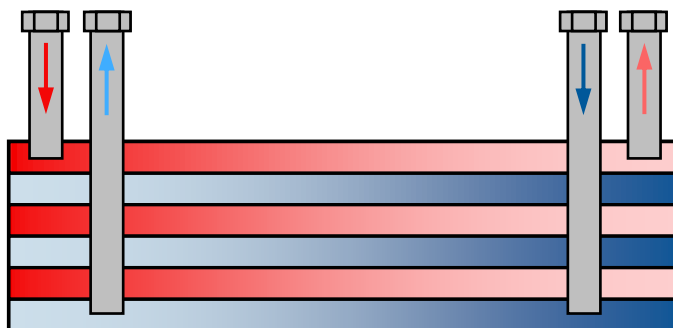
Výparníky a kondenzátory musí odolat chemickým a korozivním vlivům používaného chladiva a také musí vydržet vyšší provozní tlaky (až 3 MPa). Kondenzátory a výparníky mají prakticky totožnou konstrukci a vyrábějí se ze stejných materiálů. [3], [4]

Jedním z nejdůležitějších parametrů výměníků tepla je velikost styčné plochy mezi oběma látkami. Dalším významným parametrem je závislost tlakových ztrát na průtoku dané látky, přičemž tato závislost je nelineární a nejčastěji se znázorňuje prostřednictvím grafu. Velikost přenášeného výkonu je závislá hlavně na teplotním spádu a hmotnostním průtoku látek za čas. [4]

Vyrábí se velké množství různých druhů výměníků. V tepelných čerpadlech se pro přenos tepla mezi chladivem a kapalinou nejčastěji používají trubkové nebo deskové výměníky. Pro přenos tepla mezi chladivem a vzduchem se používají trubkové lamelové výměníky s ventilátory. [4]

Deskové výměníky jsou složeny z jednotlivých desek (plátů) z nerezových plechů, které jsou lisovány takovým způsobem, že při položení na sebe jejich příčný profil vytváří dvě skupiny malých komůrek. V nich pak odděleně od sebe proudí teplonosné kapaliny. Jednotlivé desky se střídají takovým způsobem, aby po jedné straně obíhala topná voda či nemrznoucí směs a po druhé straně chladivo. Jednotlivé desky jsou k sobě připájeny niklem nebo mědí, případně i svařeny, takže výměník může pracovat i s vyššími provozními tlaky. Obvyklá velikost provozních tlaků bývá mezi 1,6 MPa až 3,2 MPa, přičemž zkušební tlaky dosahují až 4 MPa. [3], [4]

Počet desek u pájených a svařovaných deskových výměníků nelze změnit, ale vyrábějí se i rozebíratelné deskové výměníky stažené svorníky, které se mohou po demontování vyčistit. Deskové výměníky mají mezi deskami velice malé mezery, a mohou se tedy zanést nebo ucpat. Proto se nehodí pro tepelná čerpadla využívající přímý odběr povrchové či podzemní vody. Vyčištění svařovaných anebo pájených výměníků je pak velice složité. U větších deskových výměníků pracujících jako výparníky (obvykle třicet nebo více desek), se používá typ s rozdělovačem chladiva, který rovnoměrně rozděluje chladivo mezi jednotlivé desky. Rozdělovač se vytváří při výrobě výměníku, jedná se o vhodné vytvarování jednotlivých desek a vstupních vývodů. Deskové výměníky se vyznačují malými rozměry při vysokém přenášeném výkonu, velkou účinností a vysokými pracovními tlaky. Lze je poměrně snadno tepelně izolovat a mají velkou chemickou odolnost. Jejich cena je ale vyšší a mají vyšší tlakové ztráty. Tyto ztráty se mohou snížit zvýšením počtu desek, což však zvýší cenu výměníku. [3], [4]



Obr. 17: Princip deskového výměníku

Trubkové výměníky tepla jsou vyráběny ve velkém množství různých typů, zpravidla jsou rozměrnější než srovnatelné deskové výměníky. Jeden z nejběžnějších typů je typ trubka v trubce, který se skládá z trubky většího průměru, ve které je vložena trubka s menším průměrem, případně svazek několika menších trubek. Uvnitř větší trubky proudí kapalina (topná voda nebo nemrznoucí směs), v menší trubce (či trubkách) proudí chladivo. Trubky musí být značně dlouhé, aby bylo dosaženo velké styčné plochy, a obvykle jsou svinuty do oválného tvaru. Kvůli zmenšení délky trubek se používají trubky s žebrovaným povrchem. [4]

Dalším často používaným typem je výměník složený z válcové nádoby s větším průměrem, ve které je umístěna trubka svinutá do spirály, případně svazek paralelně propojených trubek. Válcová nádoba je obvykle z nerez a obvykle v ní obíhá topná voda nebo nemrznoucí směs. V trubce či svazku trubek uvnitř nádoby obvykle obíhá chladivo. Výhodou tohoto typu výměníku jsou malé tlakové ztráty v okruhu válcové nádoby, má však často vyšší cenu. Tento typ je možné, při vhodné konstrukci, použít pro méně čisté kapaliny (přímý odběr povrchové nebo podzemní vody pro primární okruh), protože výměník lze demontovat a vyčistit. [4]

Lamelové výměníky jsou obvykle složeny z několika řad měděných trubek, ale někdy se používají i výměníky jen s jednou řadou trubek nebo v celohliníkovém provedení. Trubky jsou často opatřeny lamelami z hliníku, které zvětšují výparnou plochu výměníku. Menší výměníky mohou mít jen jeden trubkový okruh, ale rozměrnější výparníky mají několik paralelně spojených okruhů. [3], [4]

V tepelných čerpadlech typu vzduch/voda nebo vzduch/vzduch jsou na vstupy výparníků s více okruhy připojeny rozdělovače vstřikovaného chladiva. Na výstupu jsou okruhy obvykle spojeny do jedné větší trubky. Tento rozdělovač slouží k rovnoměrnému rozdělení chladiva z expanzního ventilu, kondenzátory tento rozdělovač nepotřebují. [4]

Vzduch, který proudí přes výměníky, je zpravidla poháněn ventilátorem. Nejčastěji se používají klasické axiální ventilátory, radiální nebo tangenciální ventilátory jsou méně obvyklé. Vyrábějí se i výměníky se dvěma ventilátory. Základními parametry ventilátorů jsou účinnost, výkon a hlučnost. Ventilátory jsou nejčastěji napájeny z asynchronních třífázových motorů nebo asynchronních jednofázových motorů s rozběhovými kondenzátory. Některé třífázové motory mají možnost přepnutí počtu otáček, protože při nižších otáčkách poklesne hlučnost ventilátoru. [4]

1.6.3 Expanzní ventil

Termostatický expanzní ventil (nebo také vstřikovací či škrťací ventil) reguluje množství kapalného chladiva vstřikovaného do výparníku. Vpuštění přesného množství chladiva do výparníku je nutné pro zabránění nasátí kapalného chladiva kompresorem, a pro dosažení co nejefektivnějšího pracovního chodu výparníku. [3], [4]

Nejdůležitější částí expanzního ventilu je tryska, jejíž otevření je určeno tlakem pružiny napojené na regulační šroub a tlakem působícím na membránu (vlnovec) ve ventilu. Trysku je možné vyměnit, její velikost se určí dle výkonu ventilu a typu chladiva. Další důležitou částí ventilu je teplotní čidlo (tykavka) umístěné na výparníku. Čidlo je obvykle zatavená trubička z mědi, která je naplněna vhodnou kapalinou, která zvětší svůj objem při zvýšení teploty. K čidlu je připojena kapilára, velice tenká trubička (musí být tenká, aby byl vliv okolní teploty na ni co nejmenší), která přenáší změnu objemu kapaliny v čidle na membránu expanzního ventilu. Pokud

se zvýší teplota ve výparníku, vzroste tlak působící na membránu a tryska se otevře. Naopak při snížení teploty ve výparníku, tlak na membránu poklesne a tryska se uzavře. [3], [4]

Pružina napojena na regulační šroub vytváří zespodu tlak na membránu a vlastně uzavírá trysku. Tento tlak vyvolaný pružinou je při provozu konstantní, ale lze upravit pootočením regulačního šroubu. Po nastavení regulačního šroubu do požadované polohy, se šroub hermeticky uzavře pomocí speciální zaslepené matice, aby se zabránilo úniku chladiva. [4]

Expanzní ventily s vnějším vyrovnáváním tlaku se používají, pokud je ve výparníku velká ztráta tlaku (některá tepelná čerpadla vzduch/voda). U tohoto druhu ventilu se snímá tlak na výstupu z výparníku přes kapiláru, která je jednou stranou připojena k boku expanzního ventilu a druhou k potrubí za výparníkem. [4]

Elektronicky řízené expanzní ventily neobsahují membránu ani tykavku. Skládají se z trysky, která je otevírána a uzavírána elektromagnetem. Elektromagnet je ovládán elektronickou jednotkou, ke které jsou připojena teplotní čidla umístěná za výparníkem a expanzním ventilem. Tento typ expanzních ventilů je několikanásobně dražší než běžné expanzní ventily. [4]

1.6.4 Chladiva

Ve vnitřním okruhu tepelného čerpadla obíhá chladivo, které odebírá nebo odevzdává tepelnou energii. Chladivo může být jednosložková sloučenina nebo směs několika sloučenin. Chladivo musí mít vhodné termodynamické, chemické a fyzikální vlastnosti a také musí splňovat bezpečnostní, ekologické a provozně ekonomické parametry. Protože se chladiva používají v různých aplikacích (chlazení, vytápění, klimatizace) neexistuje jedno všestranné chladivo vhodné pro každou aplikaci. Jen některé typy chladiv jsou vhodné pro použití v tepelných čerpadlech. [3], [4]

K nejdůležitějším podmínkám, podle kterých se volí typ chladiva, patří požadovaná oblast použití chladiva vzhledem k provozním podmínkám a požadovaný výkon vzhledem k parametrům kompresoru. Dalšími podmínkami jsou ekologická nezávadnost a bezpečnost chladiva, jeho cena a dostupnost. Chladivo se musí vybírat i podle použitého oleje v kompresoru. [3], [4]

Jednotlivá chladiva se označují číslem a písmenem R (z anglického slova refrigerant, česky chladivo), u některých chladiv následuje po R písmeno C (z anglického slova cyclic, česky cyklický). Některá chladiva mají na konci názvu další písmena jako je a, b nebo c, která označují nesymetrické izomery. [4], [13]

Chladiva lze podle poměru jednotlivých složek ve směsi a teplotních vlastností rozdělit na zeotropní a azeotropní skupinu. Zeotropní chladiva jsou nejčastěji směsí dvou až čtyř typů chladiv. Při přeměně z par na kapalinu mají proměnné složení. Teplotní skluz, který se udává u zeotropních chladiv, je rozdíl mezi teplotami varu za stejného tlaku, pohybuje se od několika °C až po desítky °C. Azeotropní chladiva mohou být jak jednosložkové sloučeniny, tak i směsi několika chladiv. Chovají se jako čisté kapaliny, takže při přeměně z par na kapalinu se složení kapaliny a par nemění. [4], [13]

Chladiva	Chemické složení
R10 až R50	sloučeniny na bázi metanu
R110 až R170	sloučeniny na bázi etanu
R211 až R290	sloučeniny na bázi propanu
RC316 až RC318	cyklické uhlovodíky
R400 až R411b	zeotropní směsi
R500 až R509	azeotropní směsi
R600 až R620	ostatní organické sloučeniny
R630 až R631	sloučeniny dusíku
R702 až R764	anorganická chladiva
R1112 až R1270	nenasycené uhlovodíky

Tab. 4: Rozdělení chladiv podle jejich chemického složení [4]

Podle jejich složení se chladiva dále rozdělují do hlavních skupin CFC, HCFC, HCF a HC, další skupiny které existují, nejsou příliš vhodné pro použití v tepelných čerpadlech, například anorganická chladiva (oxid uhličitý CO_2 - R744, vzduch - R729, voda - R718 a fluorid sírový SF_6 - R846) a sloučeniny dusíku (čpavek NH_3 - R717). Všechna nová chladiva již nesmí obsahovat chlor ani brom (skupiny CFC a HCFC) a musí se důkladně ekologicky a toxikologicky testovat. [4], [13]

Skupina CFC jsou plně halogenizované uhlovodíky a jejich směsi. Chladiva CFC v molekule neobsahují žádné atomy vodíku, protože byl nahrazen atomy prvků ze skupiny halogenů, nejčastěji fluorem nebo chlorem, méně často bromem. Mají velký vliv na ozónovou vrstvu i skleníkový efekt, a z tohoto důvodu se v nových zařízeních nepoužívají a jejich dovoz a výroba je zakázána. Pro tuto skupinu chladiv se někdy používá označení tvrdé freony. V této skupině jsou zařazena chladiva R11, R12, R13, R113, R114, R115, R502, R503 a další. [3], [4]

HCFC jsou chlorofluorované uhlovodíky a jejich směsi, jejich molekuly obsahují i atomy vodíku. Jejich vliv na ozónovou vrstvu je poměrně malý, mají ale střední až vysoký vliv na skleníkový efekt. V nových zařízeních se již nepoužívají a jejich použití je značně omezováno. Někdy se pro tuto skupinu chladiv používá označení měkké freony. Do této skupiny mimo jiné patří R21, R22, R123, R124, R141b, R142b, R401a, R406a, R408a a R502. [3], [4]

Chladiva ze skupiny HCF v molekule nemají atomy chlory, pouze atomy fluoru. Nemají žádný nepříznivý vliv na ozónovou vrstvu, ale některá chladiva mají vyšší vliv na skleníkový efekt. V této skupině jsou mimo jiné zařazena chladiva R134a, R152a, R404a, R407a, R32 a R41. [3], [4]

HC jsou přírodní uhlovodíky a jejich směsi, jsou hořlavé a neobsahují žádné halogenidy. Nemají žádný negativní vliv na ozónovou vrstvu a jen velice nízký vliv na skleníkový efekt, naopak jsou tyto látky hořlavé a výbušné. Kvůli tomu se mohou použít jen v hermeticky uzavřených systémech. Do této skupiny například patří metan - R50, ethan - R170, propan - R290, butan - R600, isobutan - R600a, pentan - R601. [3], [4]

2. Topné faktory jednotlivých typů tepelných čerpadel

2.1. Topný faktor tepelného čerpadla

2.1.1. Účinnost a topný faktor tepelného čerpadla

Topný faktor e je základním parametrem všech tepelných čerpadel, používá se také označení COP z anglického coefficient of performance. Topný faktor je bezrozměrné číslo, které udává poměr spotřeby vstupní energie (elektřiny pohánající kompresor) k množství získaného tepla. Čím vyšší je toto číslo, tím je tepelné čerpadlo účinnější a jeho provoz je levnější. Velikost topného faktoru se obvykle pohybuje podle druhu tepelného čerpadla a provozních podmínek, v rozmezí 2 až 5. U kvalitnějších tepelných čerpadel při obzvláště příznivých provozních podmínkách může být i přes 6. [1], [2], [4]

Účinností η , což je poměr mezi dodanou energií a získanou energií, se hodnotí energetická efektivita většiny zařízení. Její velikost je vždy menší než 1 (nebo 100 %), protože každé zařízení má určité ztráty. Pro stanovení účinnosti tepelného čerpadla se musí ke vstupní energii připočíst tepelná energie, která je odebírána z okolního prostředí. Tepelná energie z okolního prostředí, je obvykle 1,5 až 4 krát vyšší než je spotřeba energie pro pohon tepelného čerpadla. [1], [4]

Pro účinnost tepelného čerpadla platí následující vztah:

$$\eta = \frac{Q_T}{Q_Z + Q_P} \quad (-; J, J, J) \quad (1)$$

kde:

Q_Tvýstupní energie z tepelného čerpadla

Q_Zenergie z okolního prostředí

Q_Penergie pro pohon tepelného čerpadla

Velikost topného faktoru je především ovlivněna: [1], [2], [4]

- Vstupní teplotou zdroje tepelné energie
- Výstupní teplotou tepelného čerpadla
- Parametry použitého chladiva
- Typem použitého kompresoru
- Kvalitou konstrukčního provedení tepelného čerpadla

Vstupní teplota zdroje tepelné energie by měla být co nejvyšší, ale nesmí být vyšší, než je maximální dovolená teplota daného tepelného čerpadla. Použitý zdroj tepla nesmí být poddimenzován a ochlazení teplotnosné kapaliny ve výparníku by nemělo být až příliš velké, aby vypařovací teplota nemusela být příliš nízká. Nízká vypařovací teplota způsobí zmenšení topného faktoru a může dojít až k zamrznutí teplotnosné kapaliny. Teplota na výstupu z tepelného čerpadla by měla být co nejnižší, aby byl co nejmenší rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou z tepelného

čerpadla. Čím menší je rozdíl teplot, tím méně energie tepelné čerpadlo spotřebuje a tím vyšší je topný faktor. Běžná výstupní teplota tepelných čerpadel je přibližně do 55 °C. [1], [2], [4]

Chladiva se vzhledem k ekonomice provozu hodnotí prostřednictvím koeficientu účinnosti. Tento koeficient určuje spotřeba energie na jednotku chladicí kapaliny. Velikost spotřeby energie je závislá na termodynamických vlastnostech chladiva a měla by být co nejmenší. Mezi vlastnosti chladiv, které nejvíce ovlivňují koeficient účinnosti, patří výparné teplo, kompresní poměr, měrná hmotnost par, specifické teplo kapaliny a par. [3]

2.1.2. Výpočet topného faktoru

Topný faktor e vyjadřuje poměr spotřebované energie nutné pro pohon tepelného čerpadla k vyprodukované tepelné energii. [1]

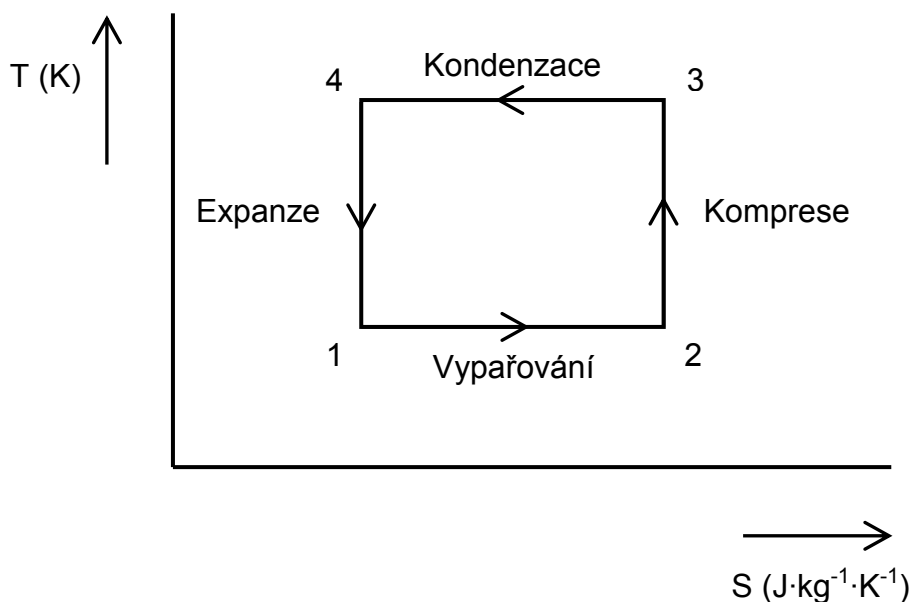
$$e = \frac{Q_T}{Q_P} \quad (- ; J, J) \quad (2)$$

kde:

Q_T výstupní energie z tepelného čerpadla

Q_Penergie pro pohon tepelného čerpadla

Výpočet topného faktoru prostřednictvím teplot vychází z ideálního Carnotova cyklu, což je vratný kruhový oběh ideálního tepelného stroje. Carnotův cyklus se skládá ze dvou vratných izotermických dějů a dvou vratných adiabatických (izoentropických) dějů. [1], [4]



Obr. 18.: Diagram teplota-entropie (T-S) Carnotova cyklu.

Pracovní cyklus se skládá z těchto dějů: [4]

- 1 – 2 izotermické vypařování
- 2 – 3 adiabatická (izoentropická) komprese
- 3 – 4 izotermická kondenzace
- 4 – 1 adiabatická (izoentropická) expanze

Pro topný faktor podle Carnotova ideálního cyklu platí vztah: [4]

$$e = \frac{T_V}{T_V - T_Z} \quad (-; K, K) \quad (3)$$

kde:

T_Vteplota na výstupu

T_Zteplota zdroje tepelné energie

Z předchozího vztahu je patrné že tepelné čerpadlo nemůže mít topný faktor menší než jedna. Topný faktor je pak tím větší, čím menší je rozdíl mezi teplotou zdroje tepla a výstupní teplotou. Oběh však v praxi neprobíhá podle Carnotova ideálního cyklu, oběh skutečných zařízení odpovídá spíše Rankinovu cyklu. Při provozu tepelného čerpadla vznikají určité ztráty. Tyto ztráty jsou způsobeny nedokonalostmi kompresoru, termodynamickými vlastnostmi chladiv, tlakovými ztrátami v potrubí, tepelnými ztrátami do okolí a dalšími vlivy. Také pro přesnější výpočet by teploty v rovnici (3) měly být nahrazeny teplotami chladiva. Tedy vypařovací teplotou (nahradí teplotu zdroje tepla) a kondenzační teplotou (nahradí teplotu na výstupu). [1], [4]

Topný faktor skutečného oběhu je dán vztahem: [9]

$$e = k \cdot \frac{T_V}{T_V - T_Z} \quad (-; -, K, K) \quad (4)$$

kde:

kkorekční součinitel pro skutečný oběh (0,4 až 0,6)

T_Vteplota na výstupu

T_Zteplota zdroje tepelné energie

Topný faktor e je možné rovněž stanovit z elektrického příkonu tepelného čerpadla a tepelného (nebo také topného) výkonu čerpadla. [4]

$$e = \frac{P_T}{P_E} \quad (-; kW, kW) \quad (5)$$

kde:

P_Ttepelný výkon čerpadla

P_E elektrický příkon

Velikost tepelného výkonu je určena hmotnostním průtokem teplotnosné kapaliny, rozdílem teplot na vstupu a výstupu sekundárního okruhu tepelného čerpadla a měrnou tepelnou kapacitou teplotnosné kapaliny. [4]

$$P_T = \Delta T \cdot c \cdot m \quad (\text{kW}; \text{K}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \text{kg} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (6)$$

kde:

ΔT rozdíl teplot

mhmotnostní průtok teplotnosné kapaliny

cměrná tepelná kapacita teplotnosné kapaliny

2.1.3. Provozní a skutečný topný faktor

Okamžitá velikost topného faktoru se neustále mění podle okolních podmínek. Teplota zdroje tepelné energie (země, voda, vzduch) v průběhu roku kolísá, také se může měnit i teplota na výstupu z tepelného čerpadla. Při větším rozdílu mezi teplotou zdroje tepelné energie a teplotou na výstupu tepelné čerpadlo spotřebovává více elektrické energie. Proto se používá provozní (nebo také průměrný) topný faktor, který odpovídá celé topné sezóně, popřípadě celému roku. Určuje se z celkové spotřeby energie a celkového topného výkonu za určité období. Prostřednictvím provozního topného faktoru lze stanovit skutečné provozní náklady tepelného čerpadla. Kromě topného faktoru samotného tepelného čerpadla se také používá skutečný (někdy také celkový) topný faktor, ve kterém jsou obsaženy veškeré spotřebované energie. Výsledný skutečný topný faktor je vyšší než jedna, ale nižší než topný faktor samotného tepelného čerpadla. Tepelná čerpadla totiž potřebují elektrickou energii nejen pro pohon kompresoru, ale mimo jiné i pro oběhová čerpadla primárního a sekundárního okruhu, pro ohřev olejové náplně kompresoru, pro ovládací jednotku a pro pohon cívek elektromagnetických ventilů. Vzduchová tepelná čerpadla potřebují navíc elektrickou energii pro pohon venkovních ventilátorů nebo pro reverzní chod, který se používá pro odtávání námrazy na výparníku. [1], [2], [4]

Spotřeba elektřiny oběhovými čerpadly primárního okruhu u zemních nebo vodních tepelných čerpadel je obvykle poměrně nízká. Energie spotřebovaná ventilátory vzduchových tepelných čerpadel je podstatně vyšší. Spotřeba elektrické energie oběhových čerpadel ústředního topení se ke skutečnému topnému faktoru nepřipočítává, protože by topný systém potřeboval oběhové čerpadlo i při použití jiného tepelného zdroje a jejich spotřeba obvykle není vysoká. Pokud je topný faktor měřen dlouhodobě a jsou v něm započítány veškeré spotřebované energie, jedná se pak o skutečný provozní topný faktor. [1], [4]

Aby bylo možné porovnat topné faktory různých tepelných čerpadel, je nezbytné znát provozní podmínky, při kterých byly tyto topné faktory dosaženy. Jedná se o teplotu výstupního média a teplotu vstupního média. Topný faktor by měl být nejlépe udáván podle normy ČSN EN 14 511,

tepelná čerpadla jsou pak velice dobře porovnatelná. Topný faktor je často uváděn v několika provozních stavech, případně v podobě grafu. [1], [2]

2.1.4. Porovnání topných faktorů jednotlivých typů tepelných čerpadel

V následujících tabulkách jsou porovnány tepelné výkony, topné faktory a příkony jednotlivých typů tepelných čerpadel. Jsou vybrána tepelná čerpadla různých výrobců s podobnými výkony. Parametrů tepelných čerpadel by měly odpovídat normě EN 14511. První teplota je teplota vstupního média. Tedy nemrzoucí kapaliny u čerpadel země/voda nebo vzduchu u čerpadel vzduch/voda a vzduch/vzduch. Druhá teplota je teplota topné vody na výstupu tepelného čerpadla, u čerpadel vzduch/vzduch je to teplota vzduchu v místnosti.

Tepelné čerpadlo	BoxAir BA22Z	AirMaster AM3021M	Regulus EcoAir 107	IVT AIR 90	Nibe F2025-8
Výkon (kW) při 7 °C / 35 °C	8,2	8,7	8,3	8,8	8,8
Příkon (kW) při 7 °C / 35 °C	1,9	2	1,96	2,4	2,1
Topný faktor při 7 °C / 35 °C	4,4	4,5	4,24	3,7	4,19
Výkon (kW) při 2 °C / 35 °C	6,1	6,5	5,74	7,4	7,6
Příkon (kW) při 2 °C / 35 °C	1,8	1,8	1,76	2,2	2,1
Topný faktor při 2 °C / 35 °C	3,3	3,5	3,3	3,3	3,62

Tab. 5: Porovnání parametrů tepelných čerpadel vzduch/voda [22], [23], [24], [25]

Tepelné čerpadlo	IVT Nordic Inverter KHR	Samsung FJM RJ050F2HXEB	Panasonic CU-PW18GKX	Panasonic CU-RE18JKX-1
Výkon (kW) při 7 °C / 20 °C	5,4	5,7	5,4	5,8
Příkon (kW) při 7 °C / 20 °C	1,4	1,35	1,46	1,54
Topný faktor při 7 °C / 20 °C	3,86	4,22	3,7	3,77
Výkon (kW) při -7 °C / 20 °C	4,3		4,1	

Tab. 6: Porovnání parametrů tepelných čerpadel vzduch/vzduch [23], [27], [28]

Tepelné čerpadlo	IVT Greenline HE E9 /C9	Regulus EcoHeat EU8,5	AquaMaster AQ30I	Alpha-InnoTec WZS 80 H	Nibe F1240-8
Typ tepelného čerpadla	země/voda	země/voda	země/voda voda/voda	země/voda	země/voda voda/voda
Výkon (kW) při 0 °C / 35 °C	8,8	8,7	8,9	8,4	8,22
Příkon (kW) při 0 °C / 35 °C	2,1	2,07	2,0	1,91	1,66
Topný faktor při 0 °C / 35 °C	4,2	4,2	4,5	4,4	4,95
Výkon (kW) při 0 °C / 45 °C	8,2			8,0	7,25
Příkon (kW) při 0 °C / 45 °C	2,5			2,3	1,86
Topný faktor při 0 °C / 45 °C	3,3			3,5	3,9
Výkon (kW) při 0 °C / 50 °C		7,7	8,1		
Příkon (kW) při 0 °C / 50 °C		2,5	3 ,0		
Topný faktor při 0 °C / 50 °C		3,1	2,7		

Tab. 7: Porovnání parametrů tepelných čerpadel země/voda a voda/voda [22], [23], [24], [25], [26]

2.2. Měření výkonu a topného faktoru tepelného čerpadla

Pro změření skutečného topného faktoru a dosaženého tepelného výkonu tepelného čerpadla je možné využít postup, který vychází z měření elektrického příkonu, rozdílu teplot a průtoku teplotonosných kapalin. Topný faktor se vypočte podle rovnice (5), tepelný výkon podle rovnice (6). [4]

U tepelných čerpadel typu země/voda nebo voda/voda lze poměrně jednoduše změřit velikost získané energie ze země, případně vody. Naproti tomu u tepelných čerpadel vzduch/voda a vzduch/vzduch je značně obtížné dostatečně přesně změřit rozdíl teplot a průtok vzduchu ve výparníku, takže z nich nelze určit velikost získané energie ze vzduchu. Pro určení tepelného výkonu a topného faktoru ale stačí měřit pouze elektrický příkon a tepelný výkon sekundárního okruhu. [4]

2.2.1 Měření teploty

Pro měření teplot v tepelném čerpadle jsou nejvhodnější digitální teploměry s externími teplotními čidly (snímači teploty) a přesností na jedno desetinné místo. Pro dlouhotrvající měření jsou nejvhodnější teplotní dataloggery, které zapisují naměřené hodnoty do vnitřní paměti. Interval zápisu dat bývá nastavitelný ve velkém rozsahu (často od jedné sekundy až po několik hodin). Mohou se použít i teploměry připojované přímo k potrubí. [4]

Vyrábí se velké množství různých typů externích teplotních čidel, například ponorná, dotyková, prostorová nebo klešťová (pro měření teploty povrchu trubek). Čidla měří teplotu podle různých principů. Vyrábí se například čidla termoelektrická, odporová nebo polovodičová s P-N přechodem. Pokud se čidla nemohou vložit do jímek v potrubí, připevní se k povrchu a tepelně se zaizolují, přičemž se ale zmenší přesnost měření (horší přenos tepla z kapaliny k teplotnímu čidlu způsobí větší chybu měření). [4], [14]

2.2.2 Měření průtoku

Běžná tepelná čerpadla mají velikost průtoku teplotnosných kapalin až několik m^3 za hodinu. Pro měření průtoku se používá velké množství měřících zařízení pracujících na různých principech. Nejvhodnější průtokoměry pro měření průtoku teplotnosných kapalin v tepelných čerpadlech jsou takové průtokoměry, které nezpůsobí žádné přídavné tlakové ztráty. Jedná se zejména o průtokoměry indukční a ultrazvukové, které měří bezdotykově (neumísťují se dovnitř potrubí). Cena těchto typů průtokoměrů je však až několik desítek tisíc Kč. Další použitelné typy přesnějších průtokoměrů, například turbínkové nebo vírové, způsobí určité tlakové ztráty a jejich cena je také vyšší. Proto se často používají výrazně levnější vodoměry s vyhovující přesností měření a menšími přídavnými tlakovými ztrátami. [4], [16]

Obvyklé menší bytové vodoměry nejsou pro měření na tepelných čerpadlech vhodné, protože při průtocích okolo 1 m^3 za hodinu mají značně vysoké tlakové ztráty. Vhodné jsou spíše typy určené pro vyšší hodnoty průtoku (i více než 10 m^3 za hodinu). Protože je pak měřený průtok podstatně menší než jmenovitá hodnota průtoku vodoměru, jsou tlakové ztráty způsobené vodoměrem výrazně menší. Přesnost měření vodoměru pro vyšší průtoky obvykle zůstává velká i při nižších hodnotách průtoku. [4]

Některé typy vodoměrů v sobě mají zabudovaný elektrický snímač impulzů, který umožní určit okamžitou velikost průtoku (počet impulzů za jednotku času odpovídá okamžitému průtoku). Tento snímač impulzů se může k většině vodoměrů připojit i dodatečně. Vodoměr může být použit i jako ochrana před snížením průtoku v primárním okruhu tepelného čerpadla typu země/voda. Při snížení průtoku by totiž mohlo dojít až k zamrznutí výparníku. Použitý vodoměr musí mít zabudovaný snímač impulzů, který je připojen k průtokovému detektoru. Detektor pak při snížení průtoku odpojí kompresor tepelného čerpadla. [4]

2.2.3 Měření elektrického příkonu

Elektrický příkon elektromotoru, který pohání kompresor tepelného čerpadla, je možné určit součinem proudu, napětí a účinníku. Pokud je elektromotor třífázový, tak se většinou všechny fáze

považují za symetrické. Velikost účinníku elektromotorů potřebných výkonů je kolem 0,83. U běžných tepelných čerpadel menších výkonů jsou obvyklé příkony elektromotorů v rozmezí 1 kW až 5 kW, rozsahy použitých měřících přístrojů musí vyhovovat těmto hodnotám. V následující tabulce (tab. 8) jsou uvedeny běžné fázové proudy třífázových asynchronních elektromotorů, tyto proudy jsou platné pro síť 3x400/230 V. Rozběhové proudy jsou několikanásobně vyšší. [4]

Příkon elektromotoru (kW)	Proud (A)
1,0	3,0
1,5	4,3
2,0	5,4
3,0	7,9
4,0	10,5

Tabulka č. 8: Běžné fázové proudy třífázových asynchronních elektromotorů [4]

Pro měření elektrického příkonu se používají vhodné typy wattmetrů. Použitý wattmetr musí měřit činný výkon. Mohou se použít analogové wattmetry s ferodynamickým nebo elektrodynamickým měřícím ústrojím, nebo digitální wattmetry, které často mají i další funkce, jako například měření spotřeby elektrické energie. [4]

Činný elektrický příkon se může určit i prostřednictvím spotřeby elektrické energie změřené běžným elektroměrem za určitý čas, z těchto hodnot se poté vypočítá elektrický příkon. Tepelné čerpadlo se musí připojit přímo přes elektroměr, aby měření neovlivňovali ostatní spotřebiče (případně se ostatní spotřebiče vypnou). Měření elektroměrem je vhodné i pro změření delších časových úseků (týdny, měsíce), při čemž se projeví různé změny v provozních podmínkách. Takže měření poté více odpovídá reálnému provozu. Měří se spotřeba energie v kWh za jednotku času nebo za delší časový úsek. Příkon je pak dán následujícím vztahem: [4]

$$P_E = \frac{W}{t} \quad (\text{kW}; \text{kWh}, \text{h}) \quad (7)$$

kde:

P_Eelektrický příkon

Wspotřeba elektrické energie

tčas

3. Návrh měřicí metodiky

3.1. Tepelné čerpadlo ClimateMaster GSW060

GSW060 je tepelné čerpadlo použitelné v systémech země/voda nebo voda/voda. Čerpadlo obsahuje mikroprocesorovou řídicí desku typu CXM – CM. V tepelném čerpadle je jeden kompresor typu Scroll s pružným uložením. Oba trubkové tepelné výměníky (výparník a kondenzátor) jsou typu trubka v trubce a oba jsou vyrobeny z mědi. Sekundární okruh s topnou vodou a primární okruh s nemrznoucí směsí jsou navzájem odděleny. Tepelné čerpadlo je vybaveno doplňkovým trubkovým tepelným výměníkem pro přípravu teplé užitkové vody, jedná se také o typ trubka v trubce. Skříň je vyrobena z pozinkovaného plechu, a je doplněna tepelnou a protihlukovou izolací. [17], [18]

Tepelné čerpadlo GSW není určeno do venkovního prostoru, musí být instalovány uvnitř budov, přičemž okolní teplota by měla být v rozmezí 4,4 °C až 37,8 °C. Relativní vlhkost by měla dosáhnout nejvýše 75 %. [18]



Obr. 19: Tepelné čerpadlo GSW060 [17]

Topný výkon při 10/40 °C	14,6 kW
Jmenovitý příkon při 10/40 °C	4 kW
Topný faktor (COP) při 10/40 °C	3,6
Jmenovité napětí	400 V
Počet fází	3
Frekvence	50 Hz
Pracovní proud kompresoru	8,2 A
Rozběhový proud kompresoru	61,8 A
Pracovní proud čerpadla teplé vody	0,4 A
Celkový pracovní proud	8,6 A
Minimální proud	10,6 A
Chladivo	R407c
Hmotnost náplně v kompresoru	1,88 kg
Rozměry	77,8 x 64,5 x 83,8 cm
Provozní hmotnost	156 kg

Tab. 9: Technické parametry tepelného čerpadla GSW060 [17], [18]

3.2. Měřicí přístroje

3.2.1. Datalogger Voltcraft PL-125-T4

Voltcraft PL-125-T4 je čtyřkanálový digitální datalogger určený pro měření teploty v nastavitelném intervalu. S dataloggerem lze prostřednictvím vhodného teplotního čidla (termočláнку) typu K nebo J, měřit teplotu současně až na čtyřech různých místech. [19]



Obr. 20: Datalogger PL-125-T4

Na LCD displeji dataloggeru lze zobrazit rozdíl dvou naměřených teplot nebo vypočtené maximální a minimální hodnoty těchto rozdílů, popřípadě průměrný rozdíl těchto dvou hodnot. Naměřené hodnoty se ukládají do vnitřní paměti dataloggeru, jejíž maximální kapacita je 18000 hodnot. Data z vnitřní paměti je možné přenést do počítače prostřednictvím USB portu. Pro uložení naměřených dat z dataloggeru do počítače je určen program Multiple Datalogger verze 1.0. Tímto programem je dále možné naměřená data zobrazit v grafech nebo tabulkách a exportovat je do souboru xls (Excel). [19]

Rozsah měření (přístroj)	Termočlánek typ K: – 200 °C až + 1372 °C Termočlánek typ J: – 210 °C až + 1100 °C
Přesnost měření	± 0,15 % + 1 °C (> – 100 °C) ± 0,5 % + 2 °C (< – 100 °C)
Rozlišení	0,1 °C (< 1000 °C)
Čas zápisu dat	od 1 vteřiny do 60 minut (1 až 60 vteřin, nebo 1 až 60 minut)
Napájení	3 baterie 1,5 V velikosti AAA
Maximální odběr proudu	cca 7,6 mA
Rozměry	162 x 62 x 28 mm
Hmotnost	184 g
Provozní teplota	0 °C až +50 °C
Skladovací teplota	-10 °C až +50 °C
Maximální relativní vlhkost vzduchu	80 %

Tab. 10: Technické parametry dataloggeru PL-125-T4 [19]

3.2.2. Datalogger GAR 195

Digitální datalogger Garni GAR 195 je určen pro měření teploty a relativní vlhkosti v nastavitelném intervalu. Naměřené hodnoty se ukládají do vnitřní paměti dataloggeru, jejíž maximální kapacita je 32700 hodnot (16350 hodnot pro teplotu a 16350 hodnot pro relativní vlhkost). Datalogger je vybaven USB portem pro přenos dat z vnitřní paměti do počítače. LCD displej dataloggeru zobrazuje v reálném čase aktuální naměřené hodnoty relativní vlhkosti a teploty, maximální nebo minimální naměřené hodnoty, čas a datum. Datalogger má nastavitelný alarm horní a dolní meze pro teplotu a relativní vlhkost. [20]

Program RH and Temp Datalogger verze 1.5 je určen pro stažení uložených dat do počítače a pro vlastní nastavení dataloggeru (interval ukládání, alarmy teploty nebo relativní vlhkosti a signalizaci LED diodou). Program dále umožňuje exportování dat do souboru ve formátu xls (Excel) nebo do record souboru (ovládací program dataloggeru). Program dále zobrazuje grafy naměřených hodnot a parametry baterie dataloggeru. [20]



Obr. 21: Datalogger GAR 195

Teplota	celkový rozsah měření rozlišení přesnost (-40 °C až -10 °C a +40 °C až +70 °C) přesnost (-10 °C až +40 °C)	-40 °C až +70 °C 0,1 °C +/- 2 °C +/- 1 °C
Relativní vlhkost	celkový rozsah měření rozlišení přesnost (0 až 20 % a 80 % až 100 %) přesnost (20 % až 40 % a 60 % až 80 %) přesnost (40 % až 60 %)	0 až 100 % 1 % +/- 5,0 % +/- 3,5 °C +/- 3,0 °C
Čas zápisu dat	od 1 vteřiny do 24 hodin (1 až 60 vteřin, nebo 1 až 60 minut, nebo 1 až 24 hodin)	
Napájení	baterie 3,6 V, lithiová (1/2 AA)	
Životnost baterie	cca 3 měsíce, podle četnosti zápisu dat	
Rozměry	94 x 48 x 33 mm	
Hmotnost	94 g	
Provozní teplota	-40 °C až +70 °C	

Tab. 11: Technické parametry dataloggeru GAR 195 [20]

3.2.3. Třífázový elektroměr DTS 353 L 60

Třífázový digitální elektroměr DTS 353 L 60 pro střídavé napětí, slouží k měření činné elektrické energie. Elektroměr se zapojuje přímo do měřeného obvodu a je určen pro podružné měření spotřeby samostatných spotřebičů nebo skupin spotřebičů. Měření spotřebované energie v obvodu je signalizováno blikáním LED diody pro každou fázi. [21]



Obr. 22: Elektroměr DTS 353 L 60

LCD displej elektroměru zobrazuje naměřenou hodnotu v rozsahu 0 až 999999,9 kWh, bez možnosti vynulování. Jedno desetinné místo je tedy 100 Wh. Elektroměr, při měření elektrické energie, počítá impulzy (které generuje), přičemž jeden impulz je 1,25 Wh. Po napočítání 80 impulzů se posune desetinná číslice na displeji. Takže konstanta elektroměru (impulzu) je 800 impulzů na 1 kWh (1,25Wh na jeden impuls). Elektroměr umožňuje připojení (impulzní výstup SO) externího zařízení, které počítá impulzy generované elektroměrem. [21]

Jmenovité napětí	3x230 V/400 V + N
Maximální proud	60 A
Frekvence	50 Hz
Třída přesnosti (EN61036)	1
Maximální vnitřní spotřeba	0,2 W; 8 VA
Napětí impulzu	30V DC
Proud impulzu	27 mA
Šířka impulzu	90 mS
Krytí	IP 20
Rozměry	7 modulů (122 mm)
Montáž	DIN lišta TS 35 mm
Provozní teplota	-20 °C až +55 °C
Maximální průměrná vlhkost	75 %
Krátkodobá maximální vlhkost	95 %

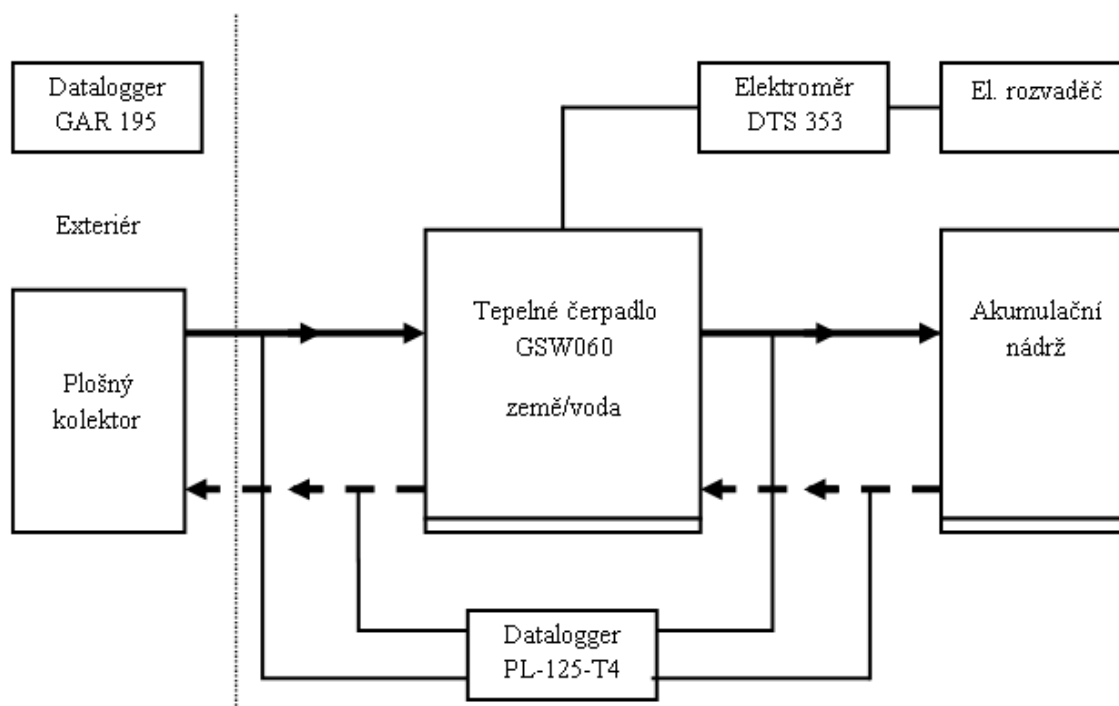
Tab. 12: Technické parametry elektroměru DTS 353 L 60 [21]

3.3. Postup měření topného faktoru tepelného čerpadla GSW060

Tepelné čerpadlo země/voda GSW060 je používáno jako hlavní tepelný zdroj pro vytápění rodinného domu s plochou 164,1 m². Čerpadlo je provozováno v paralelně-bivalentním provozu s kotlem na tuhá paliva. Tepelné čerpadlo je umístěno v garáži, která zároveň slouží jako technická místnost topné soustavy.

Zdrojem tepelné energie pro tepelné čerpadlo je horizontální zemní kolektor. Kolektor je uložen ve výkopech o celkové délce 600 metrů, hloubce 1,8 až 2 metry a šířce 30 centimetrů. Kolektor je uložen do takzvané slinky. Kolektor je z potrubí RPR 32/2,9, celková délka potrubí je 1200 metrů. Potrubí kolektoru je ve vzdálenosti deset metrů od domu rozdělovačem rozděleno na šest samostatných ramen. Kolektor je naplněn nemrznoucí směsí – solankou, k jejímu oběhu je určeno oběhové čerpadlo umístěné v technické místnosti.

Vstupní a výstupní potrubí ze sekundárního okruhu tepelného čerpadla je připojeno k nerezové akumulční nádrži o objemu 300 litrů. Tepelný spád celé topné soustavy je 36 °C /30 °C. Topná soustava se skládá z pěti okruhů, každý okruh má vlastní oběhové čerpadlo. První okruh slouží k ohřevu krytého bazénu přes výměník tepla typu trubka v trubce, okruh s topnou vodou je tedy oddělen od okruhu s bazénovou vodou. Další dva okruhy jsou pro přízemí a patro původní části domu. Poslední dva okruhy vytápí přístavbu domu. V přístavbě jsou umístěné velkoplošné radiátory, ve starší části domu je instalováno podlahové topení.



Obr. 23: Schéma měření na tepelném čerpadle GSW060

Tepelné čerpadlo je napájeno ze samostatného rozvaděče pro topnou soustavu. Je jištěno třířázovým jističem 16C. Jako přívod slouží kabel CYKY 3x2,5 mm.

Tepelné čerpadlo se zapíná, pokud teplota vody v akumulační nádrži klesne pod 42 °C. Jakmile je v akumulační nádrži vyšší teplota než 48 °C, tak se tepelné čerpadlo vypne. Čerpadlo je v provozu jen přes topnou sezónu, mimo ni je trvale vypnuto. Velikost průtoku topné vody je $2,55 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ($= \text{t} \cdot \text{h}^{-1}$) a byla změřena při prvním spuštění tepelného čerpadla do provozu. Doplnkový tepelný výměník pro přípravu teplé užitkové vody byl během měření odpojen.

Venkovní teplota se měřila prostřednictvím dataloggeru GAR 195, který byl umístěn pod stříškou na jižní straně domu ve výšce 1,2 metru. Datalogger zaznamenával naměřené hodnoty ve dvacetiminutových intervalech.

Vstupní a výstupní teplota topné vody procházející sekundárním okruhem tepelného čerpadla se měřila čtyřkanálovým dataloggerem PL-125-T4. Dataloggerem se také měřily vstupní a výstupní teploty nemrznoucí směsi procházející přes výparník tepelného čerpadla. Datalogger snímal teploty pomocí čtyř teplotních čidel typu K. Teplotní čidla byla podle možnosti vložena do spojů nebo jímek v potrubí. Po umístění čidel byla na potrubí nasunuta tepelná izolace. Všechny čtyři teploty byly zaznamenávány do paměti dataloggeru v pětiminutových intervalech.

Spotřeba elektrické energie tepelným čerpadlem byla měřena třífázovým digitálním elektroměrem DTS 353 L 60. Elektroměr byl zapojen za jistič tepelného čerpadla. Měřil spotřebu elektrické energie ovládacím okruhem tepelného čerpadla, elektromotorem pohánějícím kompresor a vyhříváním olejové náplně kompresoru. Oběhové čerpadlo primárního okruhu v měření zahrnuto nebylo, je totiž napájeno z okruhu, ve kterém jsou další spotřebiče nesouvisející s tepelným čerpadlem. Z displeje elektroměru se několikrát denně (obvykle dvakrát) odečítala spotřebovaná elektrická energie. Ze spotřebované elektrické energie a času, za který byla spotřebována, byl podle rovnice (7) stanoven elektrický příkon tepelného čerpadla

Z naměřených hodnot teplot a příkonu se sestavily grafy (obr. 24 až 31). Velikost tepelného výkonu (graf na obr. 32) je stanovena podle rovnice (6). Rozdíl teplot byl určen z rozdílu vstupních a výstupních teplot topné vody.

Velikost měrné tepelné kapacity vody, při teplotě vody 15°C, je $4,187 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Měrná tepelná kapacita byla, před dosazením do rovnice (6) pro výpočet topného výkonu, převedena z $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ na $\text{kW} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Takže velikost měrné tepelné kapacity používaná při výpočtech byla vždy $1,163 \text{ kW} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Z elektrického příkonu a tepelného výkonu se podle rovnice (5), stanovil topný faktor tepelného čerpadla. Pro stanovení topného faktoru se také použil druhý způsob výpočtu vycházející z rovnice (4), velikost topného faktoru byla vypočtena z teploty zdroje tepla a teploty na výstupu z tepelného čerpadla. Velikost korekčního součinitele pro skutečný oběh byla vždy 0,5.

4. Volba vhodné měřicí aparatury

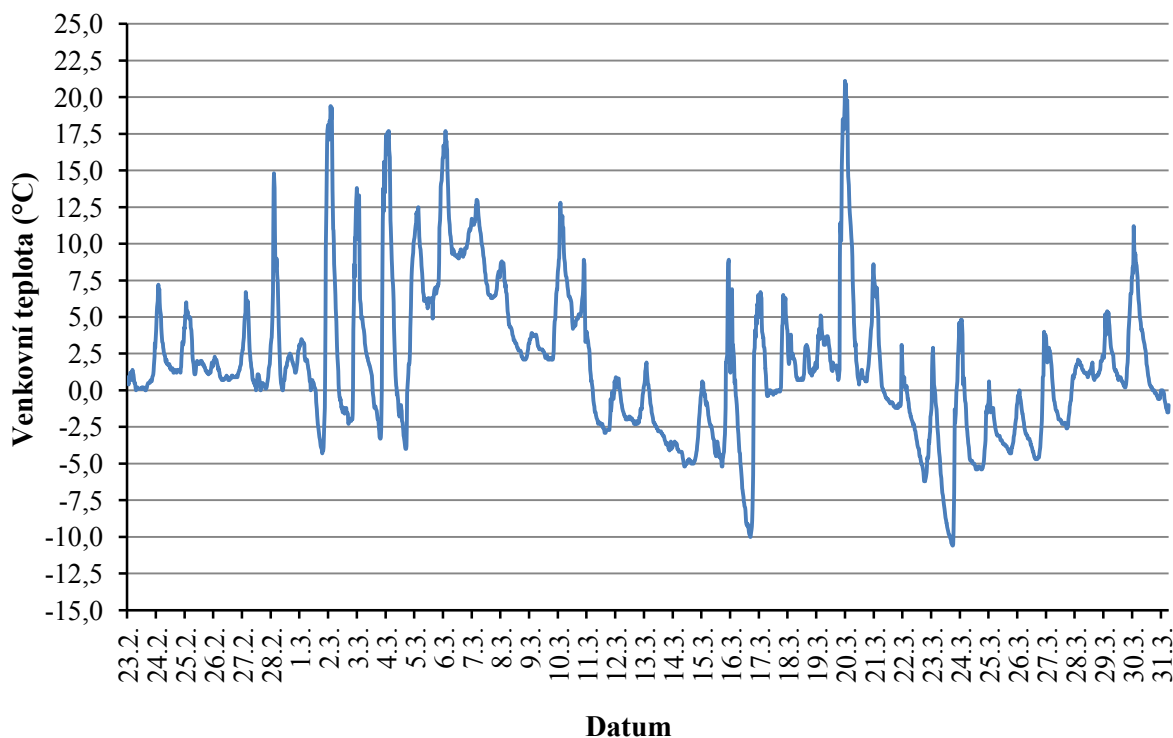
Měření topného faktoru a tepelného výkonu tepelného čerpadla GSW060 začalo 23. února 2013 v 11 hodin a skončilo 31. března 2013 v 18 hodin. Tepelné čerpadlo bylo poprvé spuštěno do provozu v prosinci 2012, přičemž nahradilo původní tepelné čerpadlo GSW036. Na konci ledna 2013, po výměně elektrického rozvaděče topné soustavy a úpravě ovládacího okruhu čerpadla, přešlo tepelné čerpadlo do běžného provozu. Měření začalo až na konci února kvůli poruše a následné výměně dvou teplotních čidel dataloggeru PL-125-T4.

4.1. Měření teplot na tepelném čerpadle GSW060

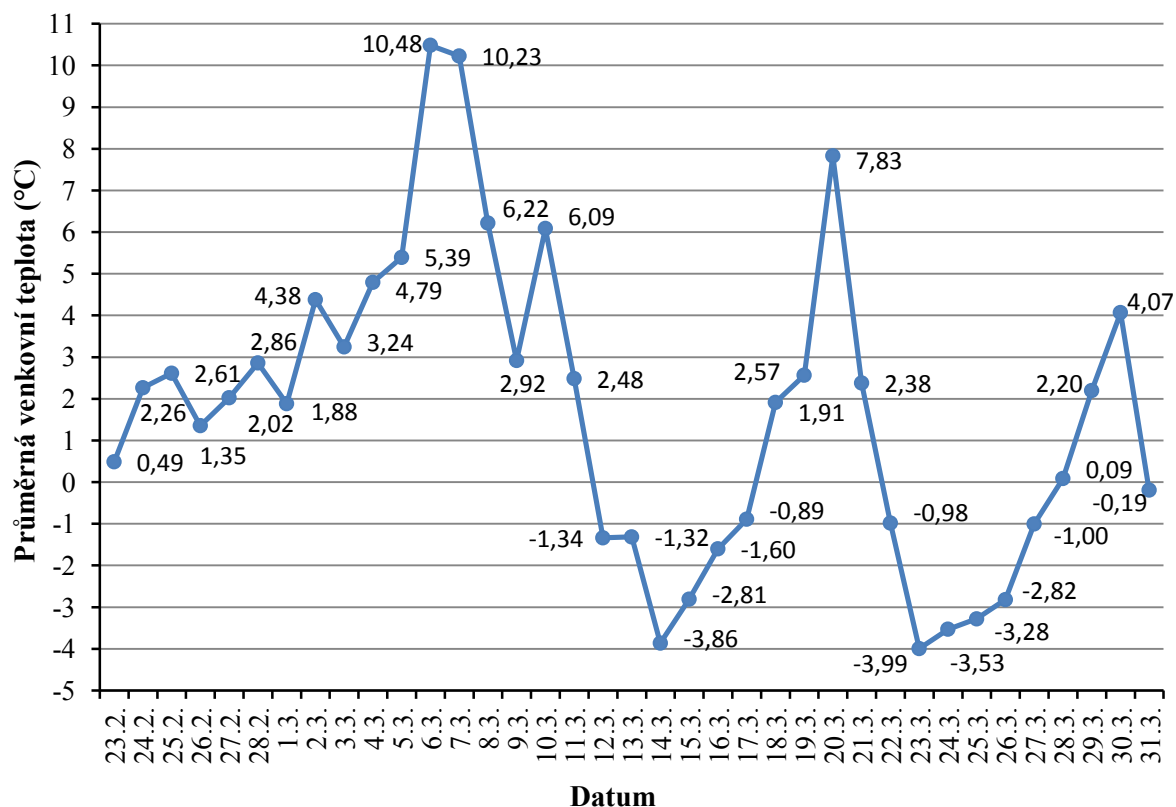
Celkem se měřilo pět různých teplot pomocí dvou dataloggerů (GAR 195 a PL-125-T4). Měřena byla venkovní teplota, teploty nemrznoucí směsi (solanky) ze zemního kolektoru na vstupu a výstupu z tepelného čerpadla, a vstupní a výstupní teplota topné vody přiváděné z akumulární nádrže do tepelného čerpadla.

4.1.1. Venkovní teplota

Pro měření venkovní teploty byl použit teplotní datalogger Garni GAR 195, naměřené teplotní údaje se do paměti dataloggeru zapisovaly ve dvacetiminutovém intervalu. Na následujícím grafu (obr. 24) je znázorněn průběh venkovní teploty v období od 23. února do 31. března. Na dalším grafu (obr. 25) je zobrazena průměrná venkovní teplota za den.



Obr. 24: Graf průběhu venkovní teploty



Obr. 25: Graf průměrné denní teploty

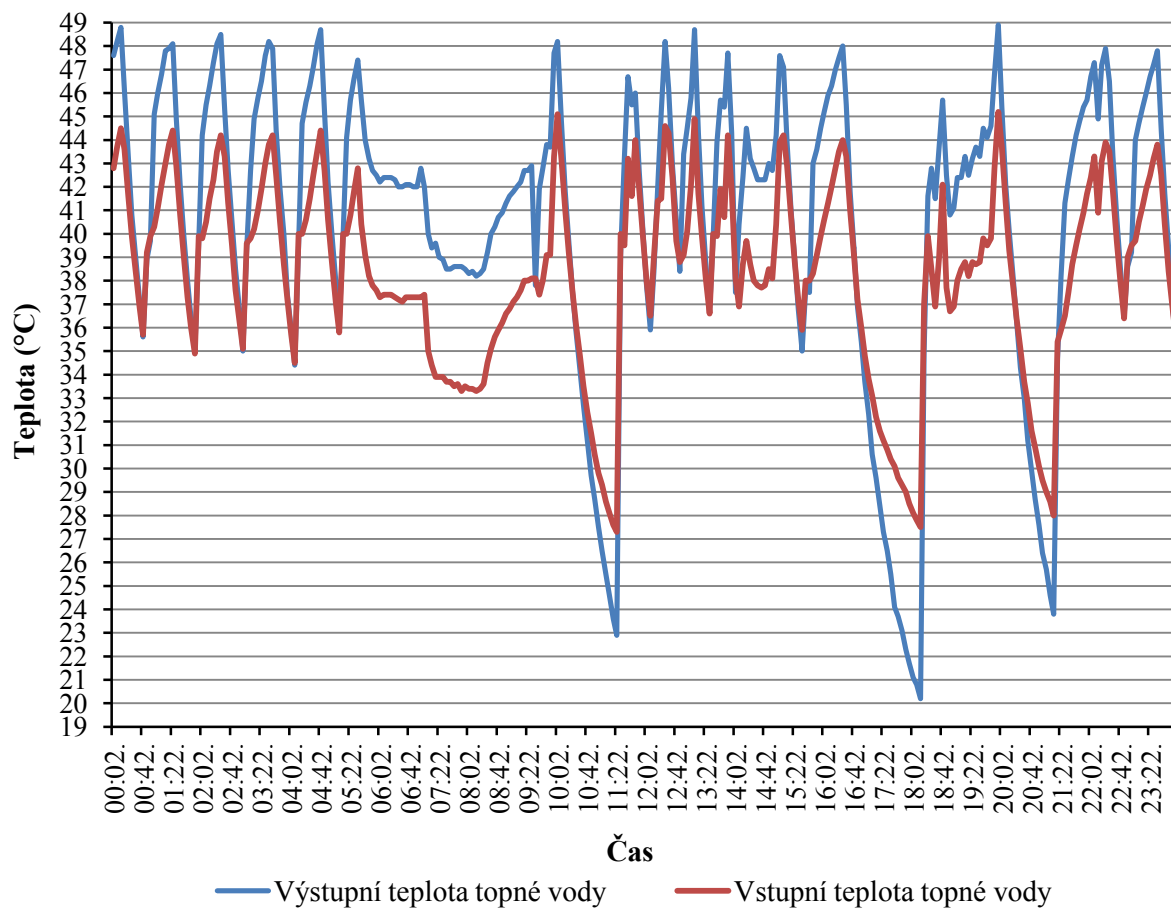
4.1.2. Vstupní a výstupní teploty tepelného čerpadla

Pro měření, vstupních a výstupních teplot topné vody a nemrznoucí směsi (solanky ze zemního kolektoru), byl použit čtyřkanálový teplotní datalogger PL-125-T4. Naměřené teplotní údaje se do paměti dataloggeru ukládaly v pětiminutovém intervalu. K dataloggeru byla připojena čtyři externí teplotní čidla Velleman. Všechna čidla byly termočlánky typu K.

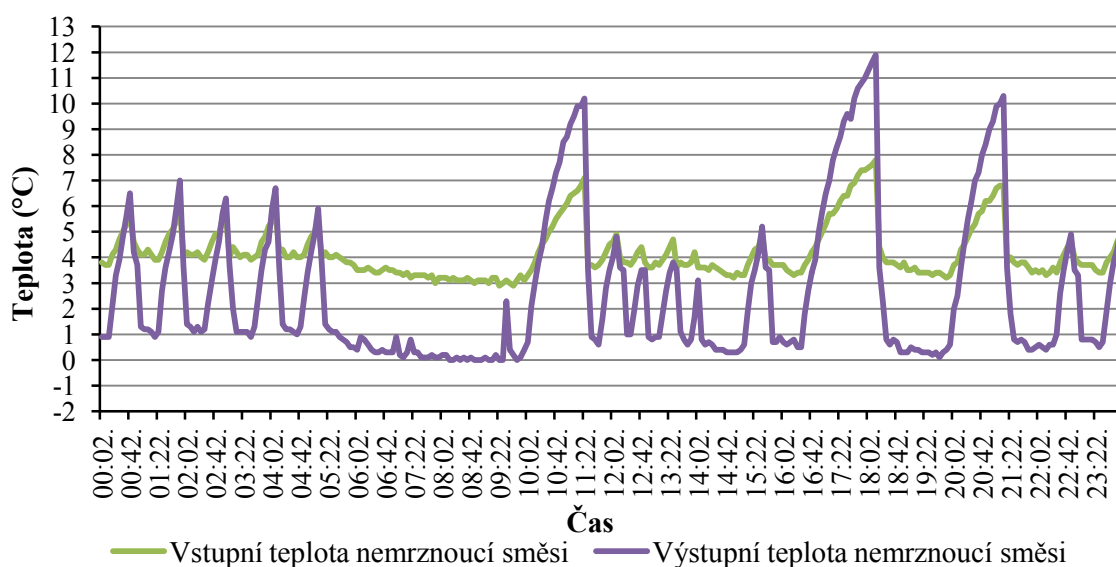
Protože tepelné čerpadlo GSW060 pracuje jen část dne, z naměřených dat byly vybrány jen úseky, ve kterých bylo čerpadlo v provozu. Rozdíl výstupních a vstupních teplot topné vody byl použit při výpočtu tepelného výkonu čerpadla podle rovnice (6). Výstupní teploty topné vody a vstupní teploty nemrznoucí směsi byly použity při stanovení topného faktoru z teplot podle rovnice (4).

Na následujících grafech (obr. 26 a obr. 27) jsou zobrazeny neupravené průběhy vstupních a výstupních teplot tepelného čerpadla během 27. března. V grafech jsou patrné úseky, ve kterých tepelné čerpadlo pracovalo a postupně se zvyšující výstupní a vstupní teplota topné vody v jednotlivých úsecích. Je to zapříčiněno tím, že sekundární okruh tepelného čerpadla je připojen k akumulční nádrži, topná voda v nádrži se postupně ohřívá a voda odváděná do tepelného čerpadla je pak stále teplejší. Obvyklé sepnutí čerpadla trvá přibližně půl hodiny, ale pokud je zvýšená potřeba tepla může pracovat i po několik hodin. Po vypnutí tepelného čerpadla se teplota v potrubí postupně zvyšuje či snižuje podle teploty v technické místnosti.

Nejvyšší spotřeba tepla byla vždy (bez ohledu na venkovní teplotu) v ranních hodinách (od pěti hodin do devíti či desíti hodin). Důvodem byla vyšší teplota, na kterou se dům během dne vytápí.



Obr. 26: Průběhy vstupních a výstupních teplot topné vody během 23. března



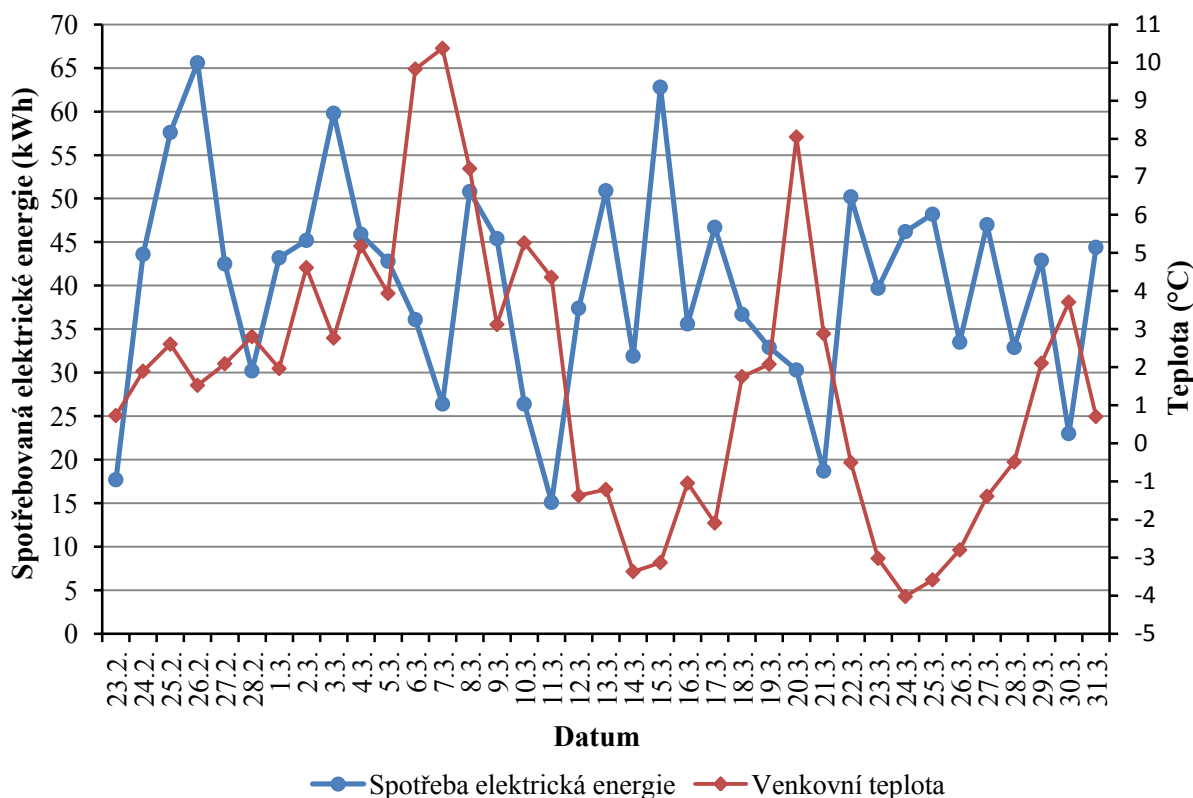
Obr. 27: Průběhy vstupních a výstupních teplot nemrznoucí směsi během 23. března

4.2. Měření spotřeby energie a stanovení příkonu tepelného čerpadla GSW060

Spotřeba elektrické energie tepelným čerpadlem se měřila třífázovým digitálním elektroměrem DTS 353 L 60, který byl připojen mezi jistič a tepelné čerpadlo. Elektroměr měřil celkovou spotřebu tepelného čerpadla, tedy spotřebu elektromotoru pohánějícího kompresor, ovládacího okruhu a vyhřívání olejové náplně. Z naměřené elektrické energie a doby, za kterou byla spotřebována, se podle rovnice (7) určil elektrický příkon tepelného čerpadla.

4.2.1. Spotřeba elektrické energie

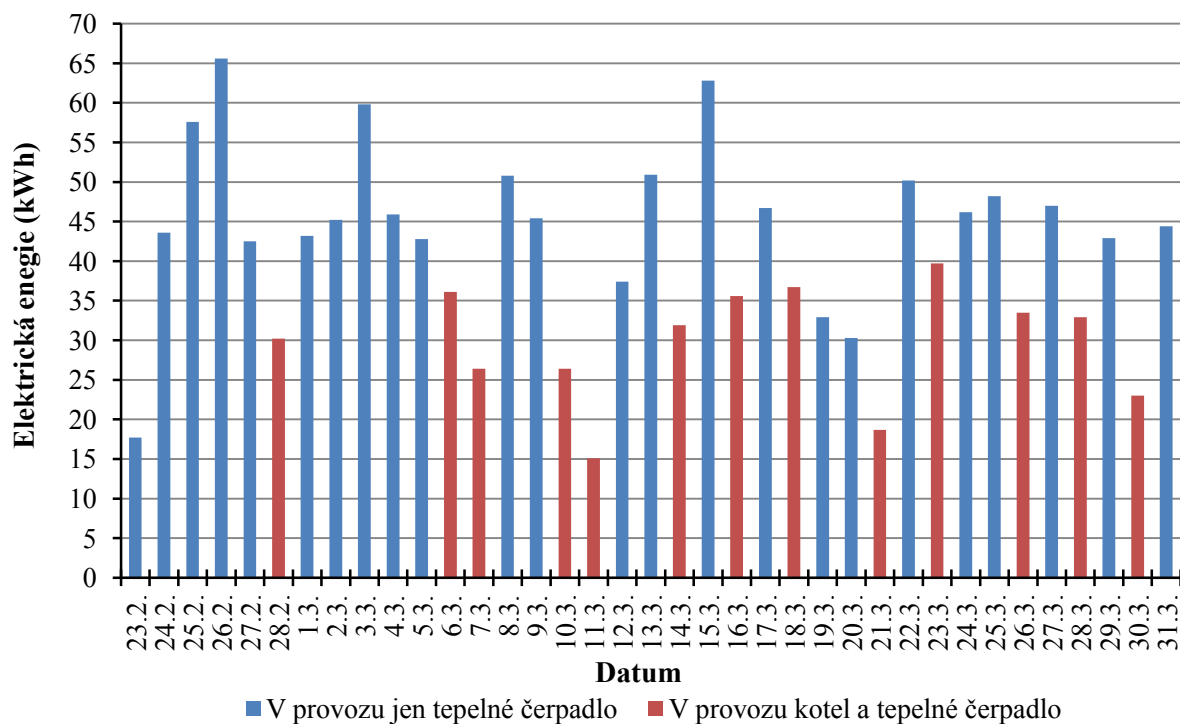
Celková spotřebovaná elektrická energie tepelného čerpadla během měření byla 1486,2 kWh, průměrná denní spotřeba byla 40,2 kWh. Na následujícím grafu (obr. 28) je zobrazena celková spotřeba energie za 24 hodin, přibližně od 18 hodin do 18 hodin následujícího dne. V grafu je také zobrazena průměrná venkovní teplota naměřená od 18 hodin do 18 hodin dalšího dne.



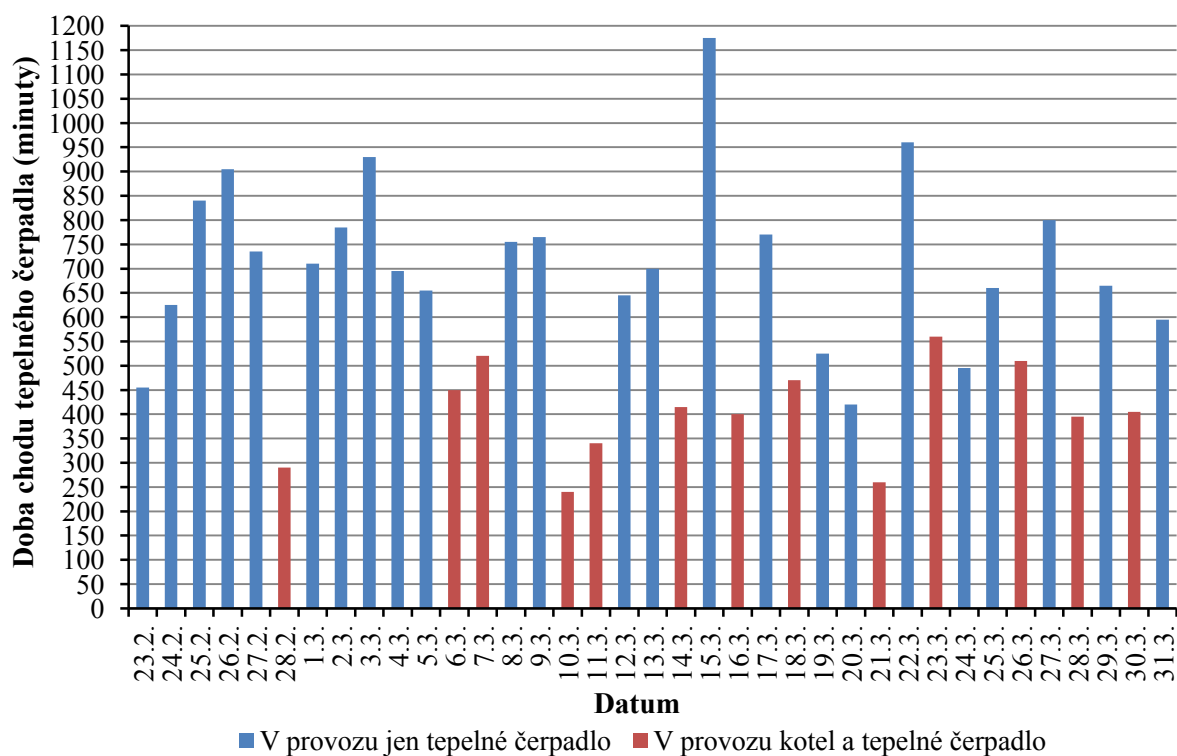
Obr. 28: Graf spotřeby elektrické energie a průměrné venkovní teploty

Protože je tepelné čerpadlo provozováno v bivalentním režimu s kotlem na tuhá paliva (špičkový tepelný zdroj), je velikost spotřebované elektrické energie, ve dnech kdy je kotel spuštěn, nižší. V následujícím grafu (obr. 29) celkové spotřeby energie jsou dny, kdy je tepelné čerpadlo v provozu samostatně a dny, kdy je spuštěn kotel, barevně odlišeny. Doba, po kterou tepelné čerpadlo běží, je menší pokud je druhý zdroj tepla v provozu. V grafu (obr. 30) je zobrazena doba

(v minutách) po kterou bylo tepelné čerpadlo jednotlivé dny v provozu. Průměrná denní doba chodu během měření byla 608 minut.



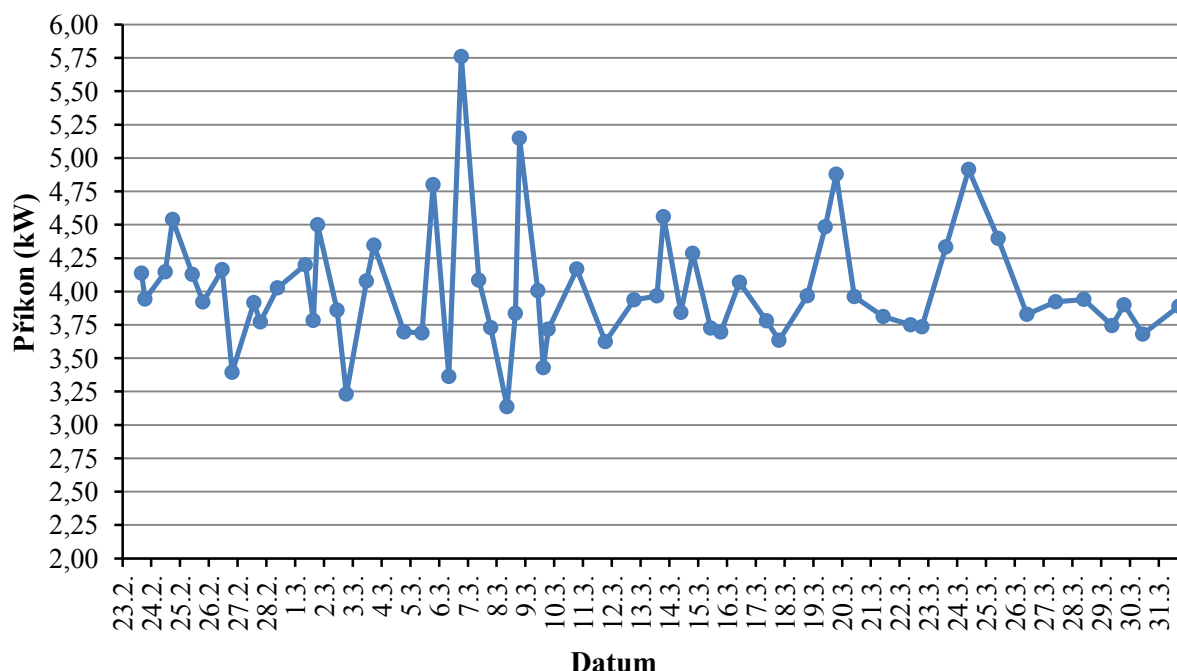
Obr. 29: Graf spotřeby elektrické energie



Obr. 30: Doba chodu tepelného čerpadla

4.2.2. Elektrický příkon

Elektrický příkon tepelného čerpadla je podle rovnice (7) určen z elektrické energie a času, za který byla spotřebována. Na následujícím grafu (obr. 31) je zobrazen elektrický příkon tepelného čerpadla. Průměrná velikost příkonu byla během měření 4,02 kW.



Obr. 31: Graf průběhu elektrického příkonu tepelného čerpadla

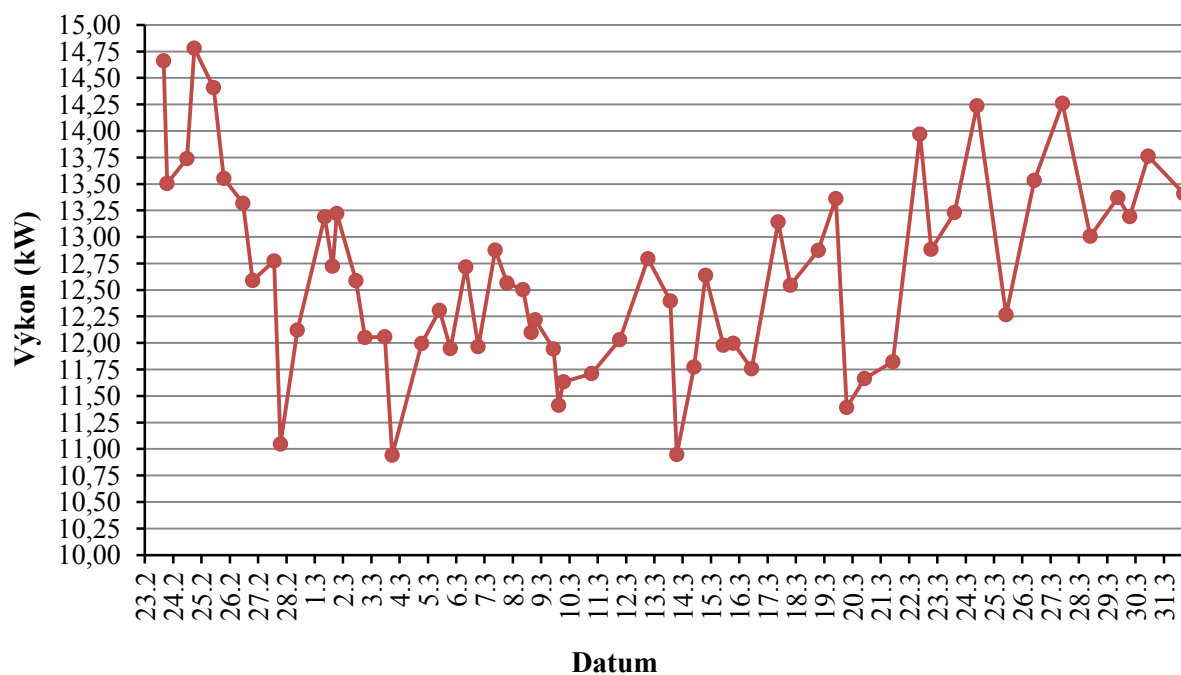
4.3. Tepelný výkon a topný faktor tepelného čerpadla GSW060

Topný faktor tepelného čerpadla GSW060 byl určen dvěma odlišnými způsoby. Prvním způsobem byl topný faktor vypočten z teploty zdroje tepelné energie a teploty na výstupu z tepelného čerpadla (teplotní topný faktor). Druhý způsob spočíval ve vypočtení topného faktoru z elektrického příkonu a tepelného výkonu tepelného čerpadla (výkonový topný faktor).

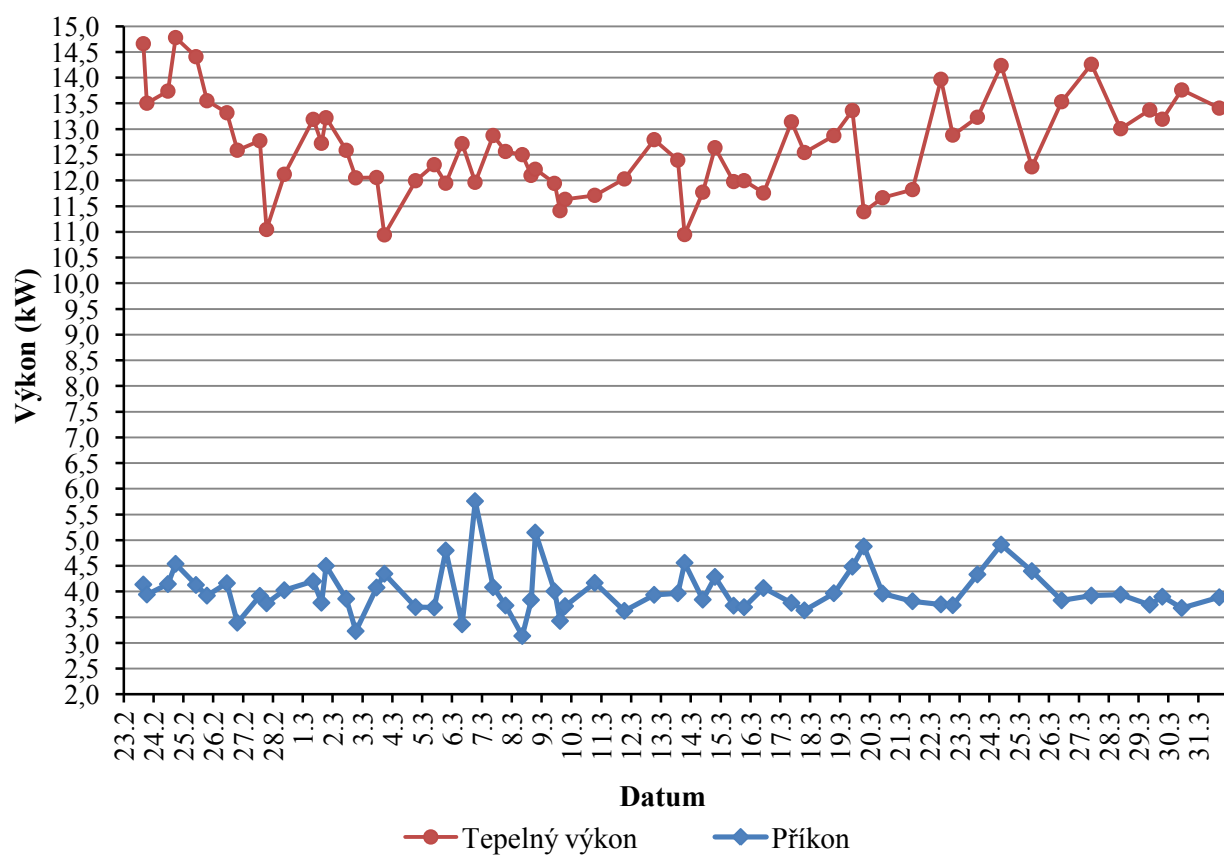
4.3.1. Tepelný výkon

Velikost tepelného výkonu čerpadla GSW060 se podle rovnice (6) určila z hmotnostního průtoku topné vody, měrné tepelné kapacity topné vody a rozdílu teplot topné vody na vstupu a výstupu z tepelného čerpadla. Hmotnostní průtok topné vody byl měřen při prvním spuštění tepelného čerpadla do provozu, a jeho velikost je $2,55 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Velikost měrné tepelné kapacity byla $1,163 \text{ kW} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Průměrná velikost tepelného výkonu během měření byla 12,69 kW.

Na následujícím grafu (obr. 32) je znázorněn tepelný výkon tepelného čerpadla. Na dalším grafu (obr. 33) je pak porovnání tepelného výkonu s elektrickým příkonem.



Obr. 32: Graf tepelného výkonu tepelného čerpadla

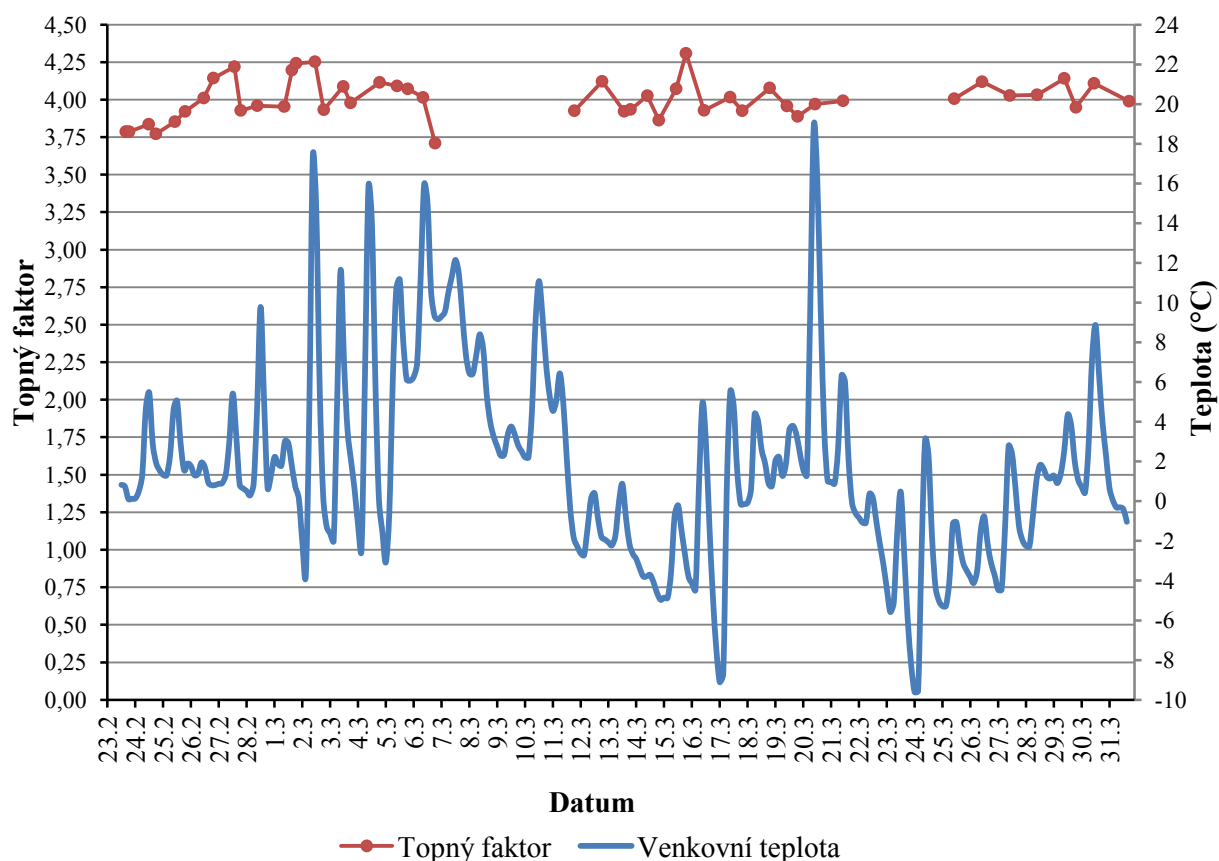


Obr. 33: Průběhy tepelného výkonu a příkonu tepelného čerpadla

4.3.2. Topný faktor

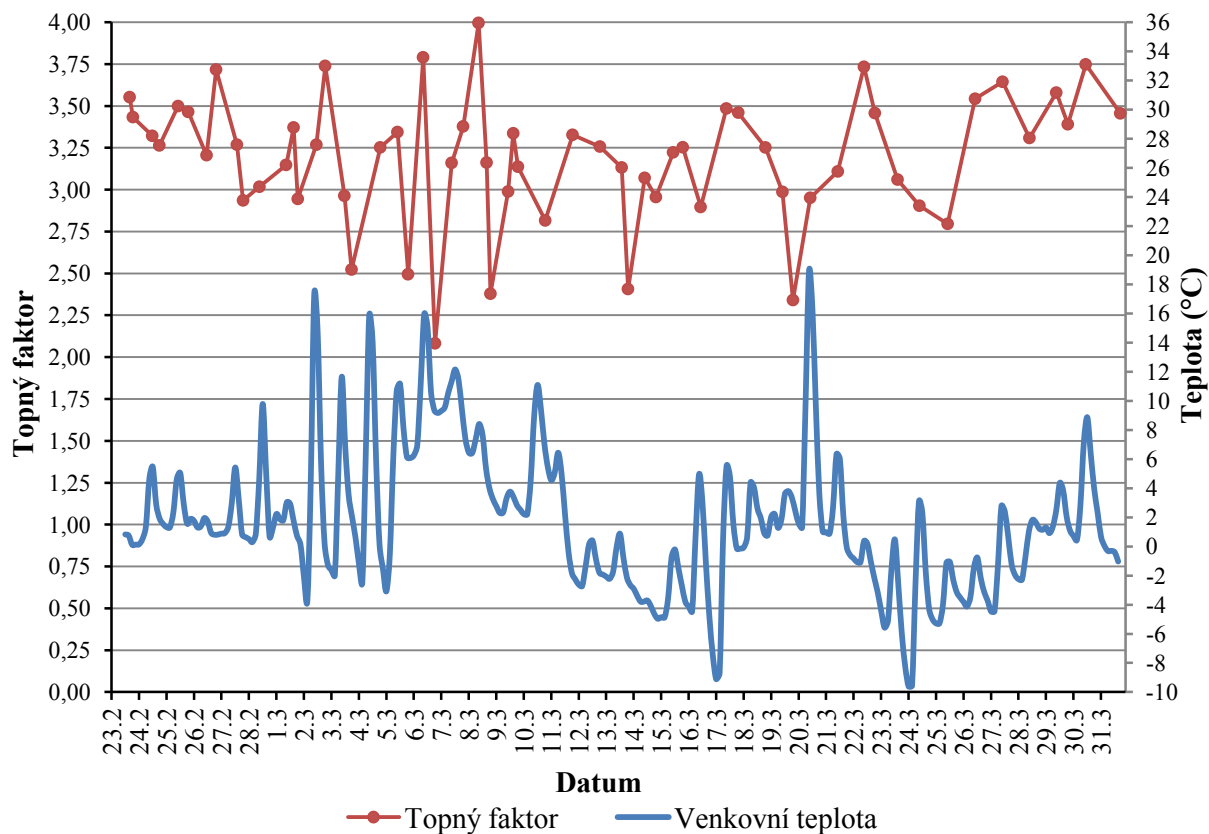
Teplotní topný faktor byl podle rovnice (4) určen z teplot topné vody na výstupu tepelného čerpadla a teplot nemrznoucí směsi (solanky obíhající v zemním kolektoru) na vstupu do tepelného čerpadla. Velikost korekčního součinitele skutečného oběhu byla vždy 0,5.

Na následujícím grafu (obr. 34) je zobrazen teplotní topný faktor a průběh venkovní teploty. Pro lepší přehlednost je v grafu zobrazena průměrná velikost venkovní teploty za každé tři hodiny. Kvůli porovnání s výkonovým topným faktorem je v následujících grafech použit průměrný topný faktor za časový úsek odpovídající topnému faktoru z výkonů.

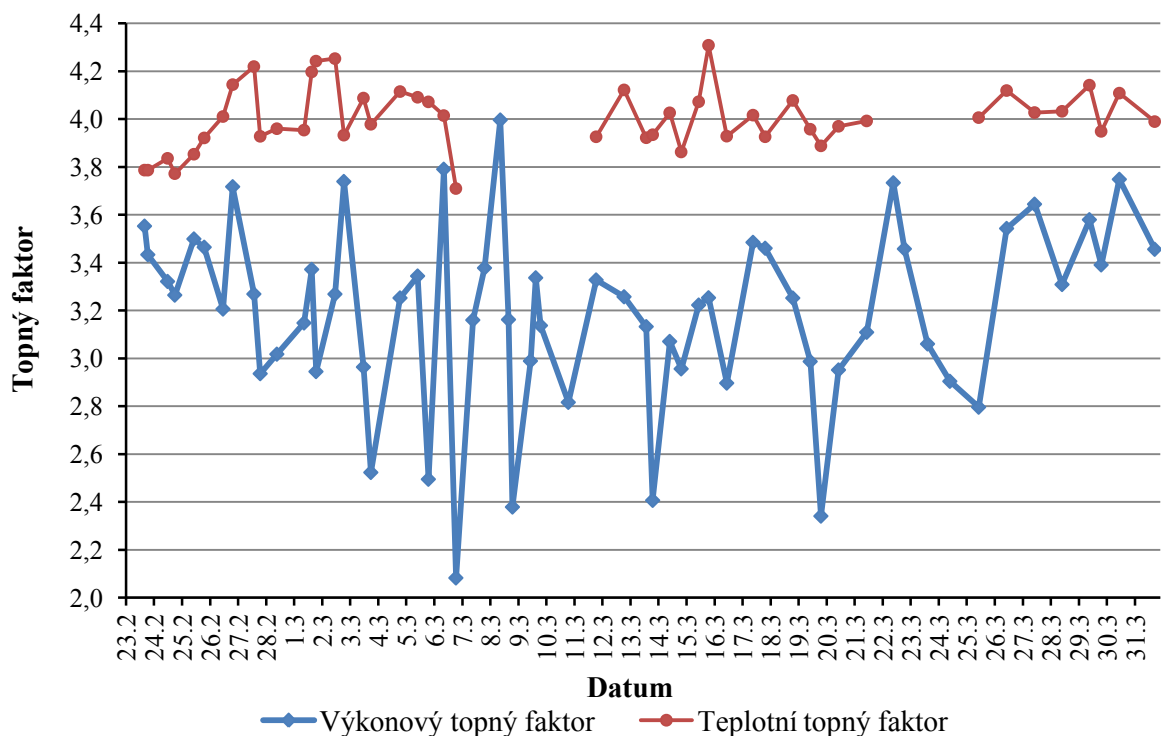


Obr. 34: Graf teplotního topného faktoru a venkovní teploty

Výkonový topný faktor byl dle rovnice (5) určen z elektrického příkonu tepelného čerpadla a topného výkonu čerpadla. Na dalším grafu (obr. 35) je zobrazen výkonový topný faktor a venkovní teplota. Pro lepší přehlednost je také v tomto grafu použita průměrná velikost venkovní teplota za každé tři hodiny. Na posledním grafu (obr. 36) je zobrazeno porovnání obou topných faktorů. Průměrná velikost teplotního topného faktoru během měření byla 4,003. Průměrná velikost výkonového topného faktoru byla 3,195.



Obr. 35: Graf výkonového topného faktoru a venkovní teploty



Obr. 36: Porovnání výkonového a teplotního topného faktoru

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo stanovení topného faktoru tepelného čerpadla, a to měřením za reálných provozních podmínek. Topný faktor se stanovil dvěma způsoby. Prvním způsobem se topný faktor určil z tepelného výkonu a příkonu tepelného čerpadla. Druhým způsobem se topný faktor stanovil z teploty topné vody na výstupu tepelného čerpadla a teploty zdroje tepelné energie (teplota nemrznoucí směsi z kolektoru). Měření probíhalo na tepelném čerpadle GSW060 typu země/voda, pracujícím v bivalentním provozu s kotlem na tuhá paliva. Zdrojem nízkoteplotní tepelné energie pro čerpadlo je horizontální zemní kolektor.

Měření probíhalo od 23. února 2013 do 31. března 2013. Při delším měření se zohlední všechny vlivy působící na tepelný výkon a topný faktor tepelného čerpadla. Během měření se měřila spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla, venkovní teplota a teploty na vstupech a výstupech primárního a sekundárního okruhu tepelného čerpadla.

Ze spotřeby energie a doby chodu tepelného čerpadla se stanovil příkon čerpadla GSW060. Průměrná velikost příkonu v průběhu měření byla 4,02 kW. Celková elektrická energie spotřebovaná tepelným čerpadlem během měření dosáhla hodnoty 1486,2 kWh. Průměrná denní spotřeba energie činila 40,19 kWh, průměrná doba chodu během jednoho dne byla 609 minut. Spotřeba energie a doba chodu tepelného čerpadla je GSW060 je ovlivněna především venkovní teplotou a provozem kotle na tuhá paliva. Ve dnech, kdy tepelné čerpadlo pracovalo samostatně, byla průměrná spotřeba elektrické energie 45,83 kWh. Ve dnech kdy byl v provozu kotel, byla průměrná spotřeba energie jen 29,71 kWh.

Tepelný výkon tepelného čerpadla byl určen z velikosti průtoku topné vody ($2,55 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), měrné tepelné kapacity vody ($1,163 \text{ kW} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) a rozdílu teplot topné vody na vstupu a výstupu tepelného čerpadla (průměrně 4,3 K). Jeho průměrná velikost během měření byla 12,69 kW.

Průměrná velikost topného faktoru určeného z příkonu a tepelného výkonu byla 3,195. Velikost topného faktoru uváděného výrobcem je 3,6, ale pro teplotu nemrznoucí směsi 10 °C a teplotu topné vody na výstupu tepelného čerpadla 40 °C. Tepelný výkon podle výrobce činil 14,6 kW. Během měření byla průměrná teplota nemrznoucí směsi jen 3,9 °C, a tepelné čerpadlo vytápělo akumulární nádrž na teplotu 48 °C. Takže teplotní rozdíl, který tepelné čerpadlo musí překonat, je vyšší což způsobí snížení topného faktoru a tepelného výkonu.

Průměrná velikost topného faktoru stanoveného z teplot činila 4,003. Jeho hodnota je spíše jen orientační a nezohledňuje příkon čerpadla, průtok topné vody a teplota, o kterou se ohřeje topná voda procházející přes tepelné čerpadlo. Rovněž je jeho velikost ovlivněna volbou korekčního součinitele pro skutečný oběh (od 0,4 až do 0,6), velikost korekčního součinitele byla ve všech výpočtech 0,5. Pokud by se zvolil nižší korekční součinitel, topný faktor by více odpovídal topnému faktoru stanovenému z výkonů.

Použitá literatura

- [1] K. Srdečný, J. Truxa; Tepelná čerpadla; Ekowatt Praha 2009
- [2] R. Karlík; Tepelné čerpadlo pro váš dům; Grada Praha 2009
- [3] J. Navrátil; Tepelné čerpadlo; Jan Navrátil Olomouc 2000
- [4] A. Žeravík; Stavíme tepelné čerpadlo; Antonín Žeravík Přerov 2003
- [5] K. Šimek a kol.; Obnovitelné zdroje energie; FCC Public Praha 1994
- [6] L. Tintěra; Tepelná čerpadla; ARCH Praha 2003
- [7] Tepelná čerpadla v roce 2011 [online]; citace k 20. 4. 2013..
Dostupný z < <http://www.mpo.cz/dokument118628.html> >.
- [8] Scroll compressor [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < http://en.wikipedia.org/wiki/Scroll_compressor >.
- [9] Obnovitelné zdroje energie [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/> >.
- [10] Představujeme tepelná čerpadla, 1. díl [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.svet-bydleni.cz/stavba-a-rekonstrukce/predstavujeme-tepelna-cerpadla-1-dil-pohled-do-historie-aneb-jak-to-vse-vzniklo-.aspx> >.
- [11] Představujeme tepelná čerpadla, 4. díl [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.svet-bydleni.cz/stavba-a-rekonstrukce/predstavujeme-tepelna-cerpadla-4-dil-kompresor-srdce-tepelneho-cerpadla.aspx> >.
- [12] Představujeme tepelná čerpadla, 5. díl [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.svet-bydleni.cz/stavba-a-rekonstrukce/predstavujeme-tepelna-cerpadla-5-dil-topna-soustava.aspx> >.
- [13] Refrigerant [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://en.wikipedia.org/wiki/Refrigerant> >.
- [14] Teploměr [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Teplom%C4%9Br> >.
- [15] Stirling engine [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < http://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_engine >.
- [16] Průtokoměr [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFtokom%C4%9Br> >.

- [17] GSW Series [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < www.climatemaster.com/downloads/LC212.pdf >.
- [18] GSW Manual [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < www.climatemaster.com/downloads/97B0008N03.pdf >.
- [19] Voltcraft PL-125-T4 [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.conrad.cz/4-kanalovy-digitalni-teploměr-voltcraft-pl-125-t4-usb.k123413> >.
- [20] GAR 195 [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.garni-meteo.cz/cz/eshop/datalogger/s-merenim-teploty-a-vlhkosti/21-gar-195.html> >.
- [21] DTS 353-L 60 [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.eleman.cz/eleman/eshop/3-1-MODULARNI-ELEKTROMERY/0/5/722-DTS-353-L-60-A-7M/description#anch1> >.
- [22] Tepelná čerpadla Master Therm [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.mastertherm.cz/tepelna-cerpadla> >.
- [23] Tepelná čerpadla IVT [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/sortiment> >.
- [24] Tepelná čerpadla NIBE [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.nibe.cz/index.php/cs/ke-stazeni> >.
- [25] Tepelná čerpadla Regulus [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.regulus.cz/cz/tepelna-cerpadla-regulus> >.
- [26] Tepelná čerpadla Alpha-InnoTec [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.alpha-innotec.de/SEEEMS/4359.asp> >.
- [27] Klimatizace Panasonic [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < http://www.panasonic.cz/html/cs_CZ/index_CZ/index.html >.
- [28] Katalog Samsung [online]; citace k 20. 4. 2013.
Dostupný z < <http://www.czechklima.cz/czechklima/ke-stazeni> >.

Seznam příloh

- [A] Namerena_data_a_vypoety.xls; Obsahuje naměřená data teplot a spotřeby energie, a také vypočtené hodnoty topného výkonu a topného faktoru.